



Bakalářská práce

Vozový park TUL

Studijní program:

B0715A270008 Strojírenství

Autor práce:

Michal Stehlík

Vedoucí práce:

Ing. Aleš Dittrich, Ph.D., Ing.Paed.IGIP
Katedra vozidel a motorů

Liberec 2023



Zadání bakalářské práce

Vozový park TUL

<i>Jméno a příjmení:</i>	Michal Stehlík
<i>Osobní číslo:</i>	S20000109
<i>Studijní program:</i>	B0715A270008 Strojírenství
<i>Zadávající katedra:</i>	Katedra vozidel a motorů
<i>Akademický rok:</i>	2022/2023

Zásady pro vypracování:

- Zpracujte na základě dodaných podkladů analýzu aktuálně využívaného vozového parku TUL.
- Na základě analýzy navrhnete vhodnou modernizaci na vozidla s novým typem pohonu. Specifikujte nutné náklady na pořízení takových vozidel, určete požadavky na vybudování nutné interní infrastruktury. Odhadněte celkovou úsporu CO₂. Odhadněte snížení celkových nákladů na provoz vozového parku a určete návratnost.
- Výsledky budou využity interně na TUL.

Rozsah grafických prací: –
Rozsah pracovní zprávy: cca 40 stran textu
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština

Seznam odborné literatury:

běžně dostupné materiály – odborné časopisy, veletrhy, konference, internet.

Vedoucí práce: Ing. Aleš Dittrich, Ph.D., Ing.Paed.IGIP
Katedra vozidel a motorů

Datum zadání práce: 9. listopadu 2022

Předpokládaný termín odevzdání: 9. května 2024

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
děkan

L.S.

Ing. Robert Voženílek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 9. listopadu 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá vozovým parkem Technické univerzity v Liberci. Rozebírá základní pojmy jako jsou emise, emisní normy, mobilita. Teoretické poznatky představují problematiku přechodu vozidel se spalovacími motory na čistou mobilitu. V praktické části byla zpracována, na základě dodaných podkladů, analýza konkrétních automobilů vozového parku TUL. V závěru bakalářské práce jsou uvedena doporučení pro Technickou univerzitu v Liberci.

Klíčové pojmy:

emise, emisní normy, vozový park, čistá mobilita, restrikce, alternativní pohon, dobíjecí systémy

Annotation

The bachelor's thesis deals with the vehicle fleet of the Technical University in Liberec. It discusses basic concepts such as emissions, emission standards, and mobility. Theoretical findings represent the issue of the transition of vehicles with internal combustion engines to clean mobility. In the practical part, an analysis of specific cars of the TUL fleet was processed on the supplied documents. Recommendations for the Technical University of Liberec are given at the end of the bachelor's thesis.

Keywords:

emissions, emission standards, vehicle fleet, clean mobility, restrictions, alternative drive, charging systems

Poděkování

Tímto děkuji Ing. Dittrich Aleš, Ph.D., Ing.Paed.IGIP za cenné rady, věnovaný čas a ochotu při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu, kterou mi poskytuje během studia.

Obsah

1	Úvod	9
2	Silniční doprava jako zdroj znečištění ovzduší	10
2.1.	Emise spalovacích motorů	11
2.2.	Emisní normy EU	13
2.3.	Restrikce	16
2.4.	Zelená dohoda pro Evropu	18
3	Čistá mobilita.....	19
3.1.	Alternativní paliva	19
3.1.1.	Vodík.....	19
3.1.2.	CNG a LPG.....	20
3.1.3.	Hydrogenovaný rostlinný olej (HVO).....	20
3.1.4.	Bioethanol	20
3.2.	Emobilita	21
3.2.1.	Technická řešení / koncepty.....	22
3.2.2.	Nabíjecí infrastruktura	24
3.2.3.	Elektromobilita v ČR	25
4	Praktická část.....	26
4.1.	Představení vozového parku	26
4.2.	Analýza dojezdových lokací.....	27
4.3.	Návrh opatření	36
4.3.1.	Změny ve vozovém parku.....	37
4.3.2.	Návrh infrastruktury	39
4.3.3.	Fotovoltaická infrastruktura	39
4.3.4.	Realizace FVE	40
4.3.5.	Návrh bateriového úložiště	43
4.3.6.	Návrh dobíjecího zařízení.....	44
5	Závěr	47
6	Seznam použité literatury	48

Seznam použitých zkratk

Označení	Význam
PM	pevné částice
SCR	selektivní katalytická redukce
CNG	stlačený zemní plyn
LPG	zkapalněný ropný plyn
HVO	hydrogenovaný rostlinný olej
BEV	battery electric vehicle
HEV	hybrid electric vehicle
PHEV	plug – in electric vehicle
ČEZ	České energetické závody
AC	střídavý proud
DC	stejnoseměrný proud
DPF	filtr pevných částic

1 Úvod

Jedním z nejřešenějších problémů současnosti jak v České republice, ale i po celé Evropské unii, jsou emise a jejich vliv na životní prostředí. Výrobci automobilů musí dodržovat nařízení emisních norem a z toho důvodu jsou nuceni vyvíjet nové technologie ohledně vypouštění emisí do ovzduší. Zpřísnování těchto norem má za následek omezování vozů se spalovacími motory, které mají být nahrazeny vozy s lokálně nulovými emisemi.

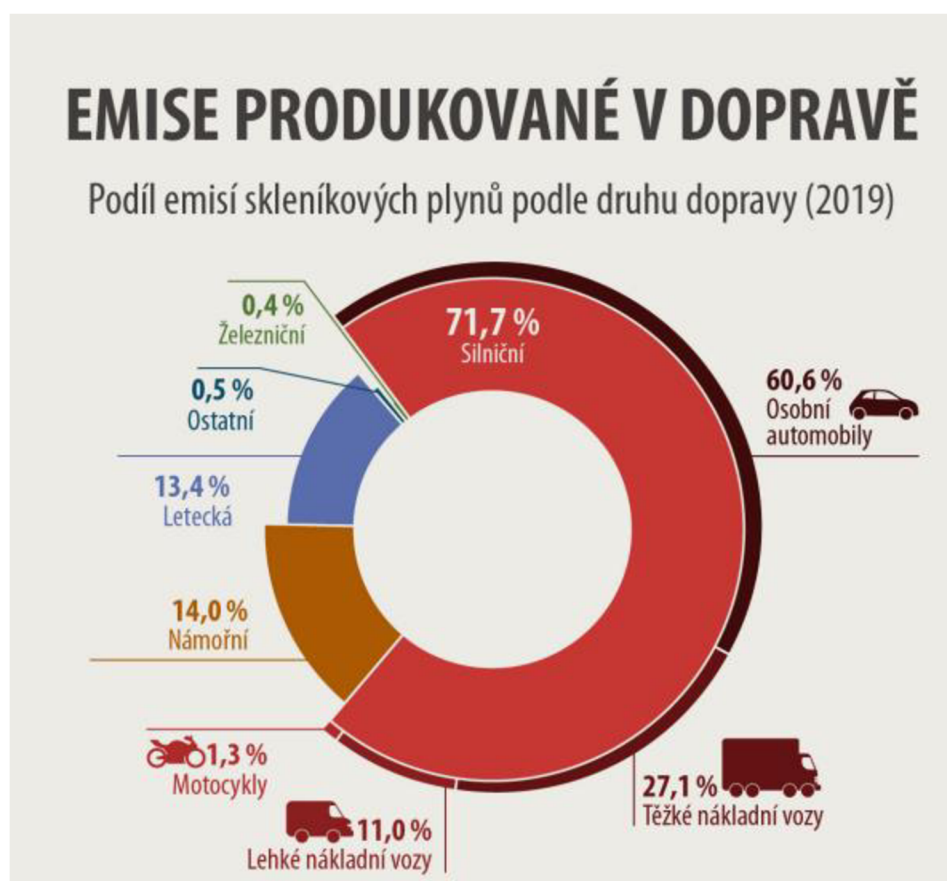
Předkládaná bakalářská práce se v teoretické části zabývá dopravou jako zdrojem znečištění ovzduší. Jsou popsány vyprodukované emise a pozornost je věnována především popisu emisí vznikajících provozem spalovacích motorů. Je zde popsán jejich vliv na životní prostředí a zmíněny jsou i důvody pro zavedení čisté mobility

Praktická část bakalářské práce se věnuje analýze vozového parku Technické univerzity v Liberci (TUL). Pro analýzu využití vozového parku bylo k dispozici dvacet jedna vozů provozovaných na TUL. Jedná se především o vozy značky Škoda, minoritně jsou zastoupeny značky Ford, Peugeot, Volkswagen, Dacia. Ve vozovém parku TUL jsou zastoupeny jak vozy se zážehovými, tak i se vznětovými motory. Cílem bakalářské práce je vyhodnocení využití jednotlivých vozidel a na základě těchto podkladů navrhnout možné náhrady či efektivnější využití jednotlivých vozidel vozového parku. Bakalářská práce se dále věnuje ekonomickým a ekologickým aspektům, které s navrženými úpravami a doporučeními na změny ve vozovém parku souvisejí (nutné pořizovací náklady, nutnost vybudování dodatečné infrastruktury v rámci areálu TUL, odhad celkové ekonomické návratnosti a předpoklad úspory CO₂ vznikajícím provozováním vozového parku TUL).

2 Silniční doprava jako zdroj znečištění ovzduší

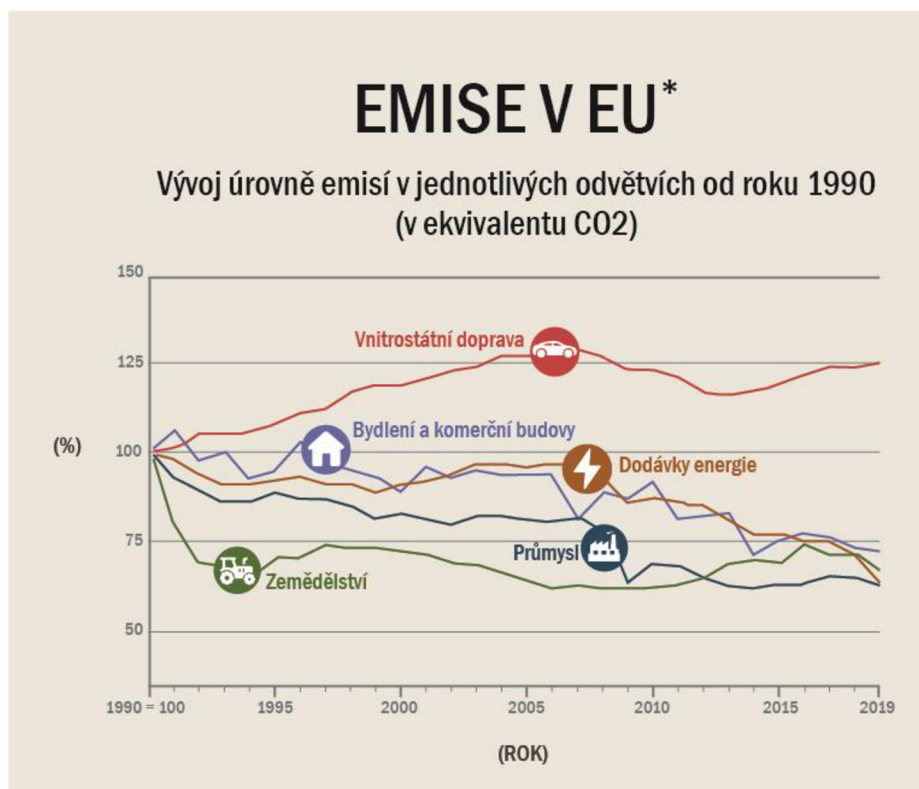
Silniční doprava je jednou ze složek, která znečišťují ovzduší, jako jsou například letecká, námořní či železniční doprava. I přesto samotná doprava tvoří okolo 30 % z celkové produkce emisí v celé Evropské unii. Avšak silniční doprava přispívá k produkci oxidu uhličitého ze všech dopravních prostředků nejvíce a to celými 72 %.

Následující Obrázek 1 znázorňuje, jakým množstvím se podílí další druhy dopravy na celkovém množství vyprodukovaných emisí oxidu uhličitého v dopravě. Železniční doprava vyprodukuje 0,4 % celkových CO₂. Letecká doprava vyprodukuje 13,4 % celkových CO₂. Námořní doprava vyprodukuje 14 % celkových CO₂ [18].



Obrázek 1: Emise produkované dopravou v EU [18]

Velká část emisí silniční dopravy je tvořena spalovacími motory osobních automobilů. Z předcházejícího obrázku je patrné, že v roce 2019 osobní automobily tvořily 60,6 % emisí celé silniční dopravy, následkem toho jsou osobní automobily nejvíce znečišťující vozidla v silniční dopravě. Těžká nákladní vozidla tvořila 27,1 % emisí celé silniční dopravy a lehké nákladní vozy tvoří 11 % emisí silniční dopravy [18].



Obrázek 2: Vývoj úrovně emisí v jednotlivých odvětvích od roku 1990 [18]

V roce 1990, kdy se produkce oxidu uhličitého začala zaznamenávat, jezdilo po Evropské unii přibližně 4 miliony osobních automobilů [27]. Rok 1990 se tedy stal výchozím bodem pro porovnávání produkce oxidu uhličitého na roky následující, viz Obrázek 2. V roce 2019 jezdilo v Evropské unii přibližně 280 milionů osobních automobilů než v roce 1990. I tak ale produkce oxidu uhličitého z dopravy stoupla pouze o 25 % oproti roku 1990 [28]. Z toho vyplývá, že vydaná opatření pro snižování emisí mají smysl.

2.1. Emise spalovacích motorů

Proces hoření v zážehových a vznětových motorů při nedostatečném přísunu vzduchu se nazývá tzv. nedokonalé spalování. Při tomto procesu vzniká oxid uhelnatý (CO₂). Zbýlý uhlík, který je dokonale spálen, se přemění s kyslíkem na oxid uhelnatý (CO). Dále při hoření vodík reaguje s kyslíkem a přemění se na vodní páru (H₂O). Dusík reaguje s kyslíkem a přemění se na oxidy dusíku (NO_x). Ty se především skládají z oxidu dusičitého a oxidu dusnatého (NO) [29].

Oxid uhelnatý, jehož molekula je tvořena jedním atomem kyslíku a jedním atomem uhlíku, je bezbarvý jedovatý plyn, který je nedráždivý, bez zápachu a bez chuti. V zemské atmosféře je přítomen v minimálním množství. CO je těžší než vzduch, takže se drží při zemi. Vzniká například při dokonalém spalování automobilových paliv. Dále vzniká například při výrobě vodíku. V nepatrném množství se také objevuje při metabolickém procesu živými organismy, takže je obsažen ve vydechovaném vzduchu z plic, je tedy „produktem“ činnosti lidstva. Funguje například jako redukční činidlo. Dále se využívá ve svítiplynech [23].

Oxid uhličitý (CO_2) je bezbarvý plyn, bez chuti a pachu. Vzniká při spalování, kdy uhlík reaguje s kyslíkem, nebo také hořením oxidu uhelnatého. Dále je produktem kvašení a dýchání. V atmosféře, kde je dnes zastoupen asi 0,04 %, se s ním běžně setkáváme. Běžné koncentrace nejsou nebezpečné, ale když už je vyšší koncentrace, tak člověku může způsobit zdravotní problémy, jako jsou bolesti hlavy, únava či závratě. Při velmi vysoké koncentraci může způsobit křeče, kóma až usmrcení člověka. Jeho koncentrace se stále zvyšuje, především od průmyslové revoluce.

Oxid uhličitý patří mezi tzv. skleníkové plyny a bohužel přispívá ke vzniku skleníkového efektu, ten má negativní dopad na oteplování planety. Vliv CO_2 na životní prostředí je tedy výrazný. Vstoupí do atmosféry, kde vytvoří nepropustnou vrstvu, přes kterou sluneční a tepelné záření pustí, ale při odražení od země už nepustí zpět do vesmíru. V pevném skupenství je využíván například v potravinářském průmyslu jako chladivo. Je využíván jako hasicí přípravek, protože je nehořlavý [12].

Oxidy dusíku (NO_x) vznikají při spalování fosilních paliv oxidací dusíku obsaženého ve vzduchu. Ačkoli jsou souhrnně označovány jako NO_x , hlavní složkou je především oxid dusičitý NO_2 a oxid dusnatý NO . V západních zemích Evropy, kde je vysoký podíl dopravy, je znečištění až 60 % NO_x , v České republice je to asi 20 %, ovšem toto číslo stále stoupá. Při nižších koncentracích mohou oxidy dusíku být nepříjemné pro spojivky, při vyšších koncentracích mohou i usmrtit [17].

Vodní pára (H_2O) je nejvýznamnější skleníkový plyn, její skleníkový efekt je mnohem vyšší než u oxidu uhličitého. Díky kondenzaci vodní páry mohou vznikat oblaka nebo také dešťové srážky. V průmyslu je důležitou složkou pro přenos tepla, konání mechanické práce, nebo pro výrobu elektrické energie. Dnes se používá například k pohonům turbín u jaderných i tepelných elektráren [19].

Pevné částice neboli saze jsou drobné částice nespáleného paliva, které jsou rozptýlené v ovzduší. Jelikož jsou tak malé, jsou unášeny vzduchem a lidský organismus je může vdechnout. To může způsobit člověku vážné dýchací problémy. Pevné částice, které jsou označovány jako PM, z angličtiny particulate matter, se podílejí na dějích, jako je vznik vodních srážek. Ovlivňují také teplotní bilanci Země [24].

Nespálené uhlovodíky se označují souhrnnou značkou HC. Řadí se sem například methan, aromáty, ethan, alkeny či aldehydy. Řadíme je mezi nejedovatější emise z výfukových plynů. Působí dráždivě na sliznice a také mají vliv na tvoření skleníkového efektu. Například uhlovodík benzen zvyšuje pocit únavy, zrychluje srdeční tep či způsobuje bolesti hlavy [30].

2.2. Emisní normy EU

V důsledku zhoršování životního prostředí emisemi ze spalovacích motorů začala evropská unie zpřísnovat požadavky na emise a zavedla tzv. Emisní normy EU. Emisní norma Euro je závazná norma Evropské unie stanovující limitní hodnoty škodlivin ve výfukových exhalacích benzinových a naftových motorů pro motorová vozidla v závislosti hmotnosti škodliviny na ujetý kilometr dle definovaného homologačního jízdního cyklu. Tyto normy stanovují výrobcům automobilů, kolik pevných částic, oxidu uhelnatého, oxidů dusíků, uhlovodíků a především oxidu uhličitého může automobil vyprodukovat. Každou další normou se hodnoty zpřísnují, takže se snižuje množství, které automobil může vyprodukovat. Normy se týkají vozidel, která jsou uváděna na jednotný Evropský trh.

Emisní norma I

Tato norma byla zavedena v roce 1992 a tehdy ještě nerozlišovala mezi vznětovým a zážehovým motorem. Norma určovala, aby vozidla byla vybavena katalyzátorem a dále aby se používal bezolovnatý benzin [5].

Emisní norma II

Vstoupila v platnost roku 1996. Zavedla rozdílné limity pro vznětové a zážehové motory. Dalším rozdílem oproti normě I bylo pouze to, že se zpřísnily hodnoty emisí [5].

Emisní norma III

V roce 2000 začala platit norma III. Ta stanovovala, že se musí samostatně měřit oxidy dusíku u vznětových motorů. Dále zavedla samotné limity oxidu dusíku a nespálených uhlovodíků pro zážehové motory [5].

Emisní norma IV

Norma začala platit v roce 2005 a zaměřila se více na škodliviny, které byly produkovány vznětovými motory. Součástí jejich výbavy se stal filtr pevných částic (DPF), jehož účelem bylo zachytávání pevných částic ve výfukovém systému, aby se nedostaly do ovzduší. Přinesla na trh novou technologii SCR (selektivní katalytická redukce), která vstříkuje močovinu AdBlue pro neutralizaci oxidu dusíku. Od té doby je nutné ji používat u všech vznětových motorů [5].

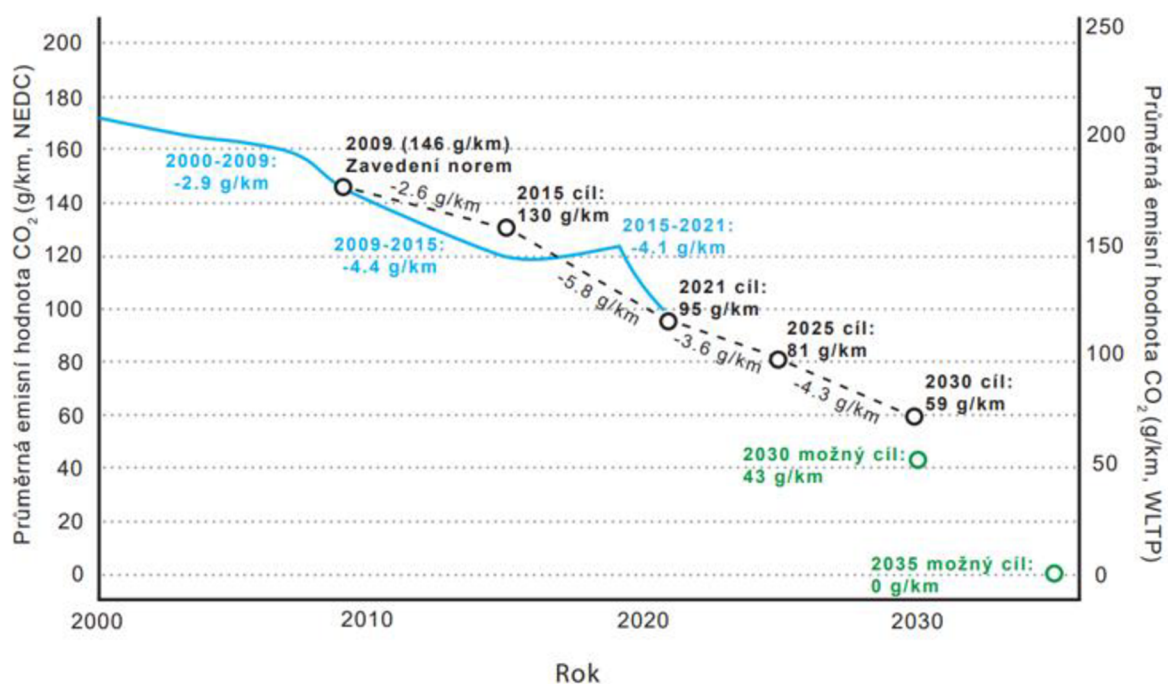
Emisní norma V

Začala platit v roce 2009 a poprvé nám stanovila limit pevných částic i pro zážehové motory s přímým vstřikováním. Dále zpřísnila limity pro vznětové motory u produkce pevných částic. Dále byl stanoven limit vypouštění oxidu uhličitého u osobních automobilů na 146 gramů na jeden ujetý kilometr [5].

Emisní norma VI

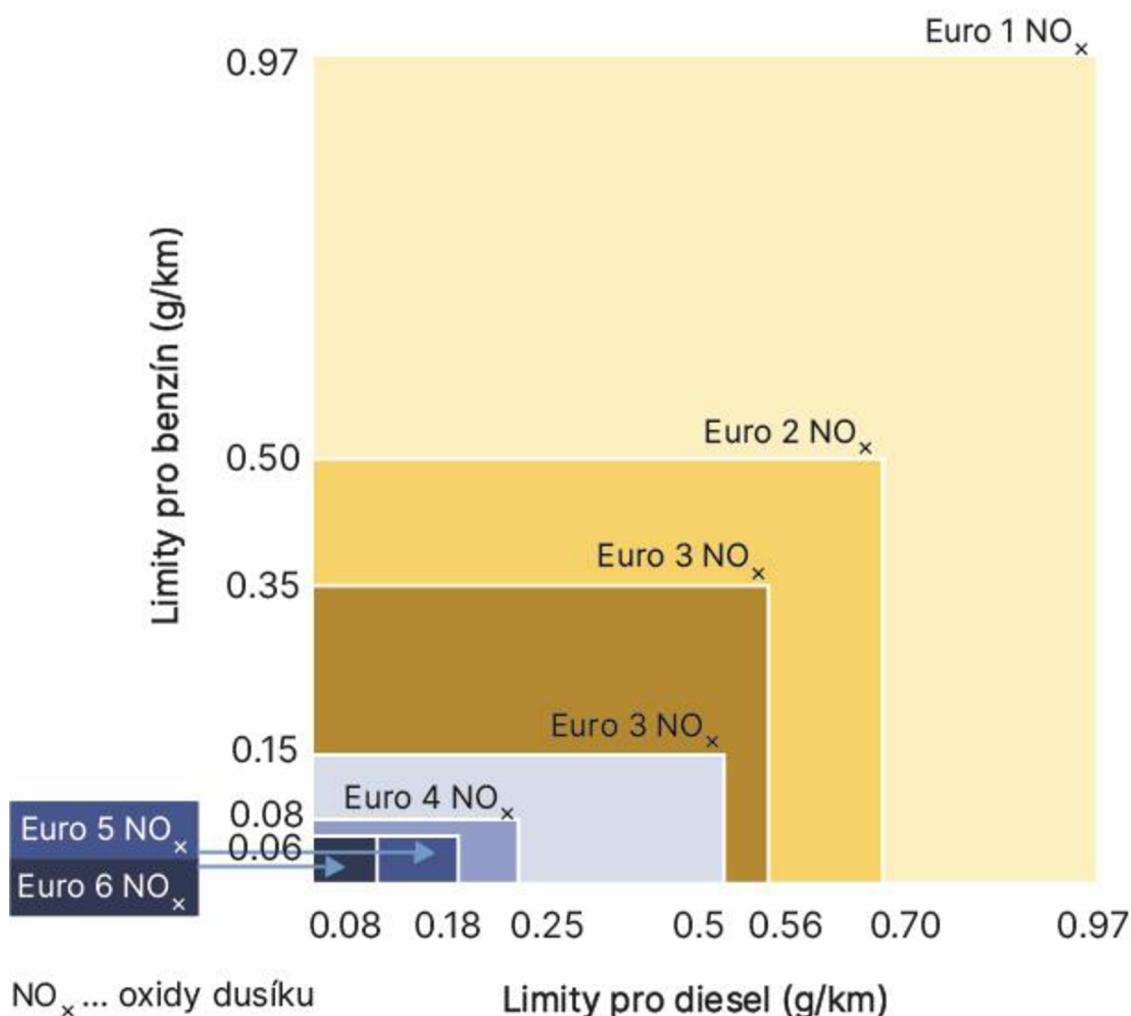
Tato norma je platná od roku 2014 a v různých obměnách platí dodnes. Skoro každým rokem byla zpřísnována a modifikována. Můžeme se setkat s normami Euro 6B, 6C, 6D – TEMP, a aktuálně platná je norma Euro 6D. Tato norma přikazuje, aby se vozidla testovala i v reálných podmínkách, protože do této doby bylo měření potřebné pro homologaci pouze v laboratořích. To mohlo vést ke zkreslování výsledků, než při skutečném provozu. Oproti emisní Normě I, stanovuje tato norma limit oxidu uhelnatého o více jak 60 % u zážehového motoru

a u vznětového až o 80 %. Byl změněn i limit vyprodukování oxidu uhličitého, pro celou flotilu automobilů, na 95 gramů na ujetý kilometr, viz Obrázek 3 [5].



Obrázek 3: Vyprodukované průměrné hodnoty oxidu uhličitého pro celou flotilu automobilky pro jeden vůz [13]

Na Obrázku 4 lze vidět, jak se měnily limity pro oxidy dusíku, které mohl spalovací motor vyprodukovat. Pro zážehový motory aktuální emisní norma Euro 6 zpřísnila limity oxidu dusíku o 94 % oproti emisní normě Euro 1. Pro vznětový motor aktuální emisní norma 6 zpřísnila limity oxidu dusíku o 92 % oproti emisní normě Euro 1.



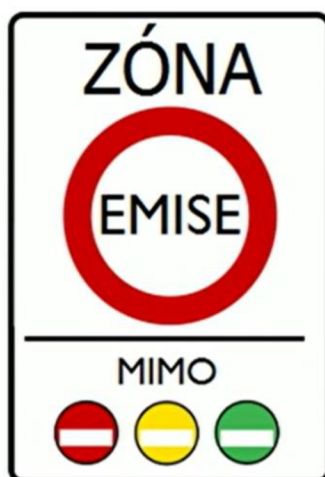
Obrázek 4: Limity NO_x pro vznětové a zážehové motory [11]

2.3. Restrikce

V únoru 2023 Evropský parlament přijal opatření, podle kterého do roku 2035 nová osobní vozidla budou muset mít nulové lokální emise oxidu uhličitého. Platí to ale jen pro nově vyrobená, ta stávající se budou moci nadále využívat, ovšem s různými omezeními. Evropská unie spoléhá na to, že náklady na elektromobil budou nižší než jsou nyní, a že náklady na provoz pořízení vozidel se spalovacím motorem budou vyšší než na elektromobil. Z toho vyplývá, že lidé budou mít sami od sebe zájem koupit elektrifikované vozidlo [22].

Dalším omezením může být například to, že vozidla, která produkují lokální emise, nebudou moci vjíždět do center měst, tak jako tomu je již nyní v několika městech po Evropě. Jako příklad můžeme uvést Německo, které již před několika lety zakázalo vjezd vozidlům se spalovacím motorem, která nesplňují minimálně určenou emisní normu Euro. I zde se mají omezení dále zpříšňovat a vést až k povolení vjezdu pouze pro vozidla s lokálně nulovými emisemi. Města, kam je vjezd zakázán vozidlům, která nesplňují určenou minimální emisní normu, jsou označena dopravní značkou Emisní zóna, viz obrázek 5.

„Dopravní značka „Emisní zóna“ (č. IZ 7a) označuje oblast, zejména část obce, kde je omezen provoz vozidel, která nesplňují zvláštní emisní podmínky. Ve spodní části značky jsou příslušným symbolem emisní plakety definována vozidla, kterým je vjezd do této oblasti povolen a popřípadě v jaké době. Emisní plaketa je přidělována na základě emisní kategorie vozidla (motoru). Emisní plaketa musí být na vozidle umístěna viditelně“, sděluje server Bezpecnecesty.cz [3].



Obrázek 5: Dopravní značka Emisní zóna[3]

Tato omezení by se v budoucnu mohla i týkat České republiky, reagoval na to tak nový prezident České republiky Petr Pavel. „Zákaz vjezdu pro vozidla se spalovacím motorem nejen do centra města je už dnes v mnoha německých městech realitou. V Česku se sice prozatím většina motoristů na podobná nařízení dívá skrze prsty, v příštích letech by se ale podobné debaty mohly dostat na stůl, ostatně pro legislativu, která by takové nařízení umožnila, by podle svého vyjádření „zvedl ruku“ i nově zvolený prezident arm. gen. v.v. Ing. Petr Pavel, M.A.“, sděluje server Energozrouti.cz [6].

2.4. Zelená dohoda pro Evropu

Evropa se snaží, aby se díky Zelené dohodě pro Evropu stala prvním kontinentem na světě, který bude klimaticky neutrální. Tato dohoda má hospodářství Unie přeměnit na moderní ekonomiku, která bude využívat plně zdrojů. Dalším cílem je do roku 2050 dosáhnout nulových emisí skleníkových plynů [23].

Rozšířením této Zelené dohody pro Evropu je návrh balíčku Fit for 55, který podporuje snížení emisí skleníkových plynů o 55% do roku 2030 oproti tomu, jaké byly schváleny v roce 1990. V balíčku Fit for 55 je navržena i dodatečná podpora čisté dopravy, obnovitelné zdroje energie a i tzv. uhlíkové clo, které se týká pro dovozy, či výrobu s vysokým obsahem uhlíku ze zemí, kde chybí dostatečná opatření pro snížení emisí [25].

Balíček neobsahuje jen návrhy upravující stávající nařízení a směrnice, ale obsahuje také další nové návrhy, kde se zaměřuje i na obchodování s emisními povolenkami, energetiku nebo také na paliva. V návrhu je i zahrnutí letecké a námořní dopravy, kdy se myslí na zahrnutí mezinárodních letů evropských aerolinek. Balíček by měl přinést nové příležitosti pro investice a nová pracovní místa [25].

3 Čistá mobilita

Zpřísnování emisních limitů znamenalo pro automobilové firmy přeorientování se k bezemisní či popřípadě nízkoemisní nabídce portfolia. Toto rozhodnutí vyneslo do popředí hybridy a vozidla s čistě elektrickým pohonem. Díky těmto vozidlům, která jsou lokálně bezemisní, nejsou obce znečištěny emisemi ze spalovacích motorů a výrobci zatíženi pokutami.

„Hlavním cílem čisté mobility by mělo být především snižování zdravotně rizikových emisí z dopravy, kterými jsou zejména rizikové emise prachových mikročástic menších než 10 mikrometrů, tzv. PM10, částice PM2,5, dále polycyklické aromatické uhlovodíky, benzen, aldehydy, oxidy dusíku, prekurzory ozónu, těžké kovy a prach. Dle odhadů Státního zdravotního ústavu se v roce 2012 v ČR expozice suspendovaným částicím PM10 podílela na cca 5 500 předčasných úmrtích. Fatální a zdravotní důsledky rizikových emisí jsou překvapivě násobně vyšší než z dopravních nehod.“ uvádí Ministerstvo životního prostředí [4].

3.1. Alternativní paliva

Za alternativní paliva jsou označovány všechny typy paliv, které využitím při spalování ve spalovacím motoru produkují nižší hodnotu škodlivých látek, nebo ty, které neprodukují vůbec žádné škodlivé látky v porovnání s klasickými vozidly [10].

3.1.1. Vodík

Vozidla s pohonem na vodík, tak jako pohon na naftu či benzín, převádějí chemickou energii na mechanickou energii. Získává se z vody nebo organických sloučenin. Dopad na životní prostředí a jakou bude mít vodík účinnost, závisí na způsobu jeho výroby, zda byl vyroben z obnovitelných zdrojů energie, jako je větrná či fotovoltaická elektrárna, nebo pomocí fosilních paliv. Pro spalování vodíku se primárně využívají upravené konvenční zážehové motory nebo také upravené vznětové pístové spalovací motory [10,20].

Vodík má ale mnoho nevýhod. Hlavní je, že momentálně neexistuje dostatečná výroba vodíku. Jednou z metod je výroba vodíku ze zemního plynu, který se ale musí těžit. Druhým řešením je elektrolýza z vody, avšak ta je velmi drahá. Další nevýhodou je, že po České republice se nachází velmi málo čerpacích bodů pro natankování vodíku. V ČR jsou momentálně

vybudovány pouze dvě veřejné stanice. Dále je náročná přeprava vodíku, protože se přepravuje jako zkapalněný při $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při riziku havárie je vodík prudce hořlavý [20].

3.1.2. CNG a LPG

Kolem roku 2013 odborníci ohledně emisí předpokládali, že alternativní pohon na stlačený zemní plyn CNG a zkapalněný ropný plyn LPG, budou budoucností pohonů. Bylo to z důvodu, že tyto plyny patří k ekologicky šetrnějším, než jsou klasické pohony. „Do roku 2020 by mělo být alternativními palivy nahrazeno 20 % pohonných hmot. K ekologicky šetrnějším alternativním palivům patří mimo jiné stlačený (CNG; Compressed Natural Gas) a zkapalněný (LNG; Liquefied Natural Gas) zemní plyn a zkapalněný ropný plyn (LPG; Liquefied Petroleum Gas)“ [9].

Vozidla s tímto typem pohonu produkují mnohem méně škodlivin než vozidla s běžným pohonem, a to nejen z těch, které jsou sledovány normami – oxidy dusíku, oxidu uhličitého, oxidu uhelnatého, pevných částic, ale také třeba karcinogenní látky, kterými jsou uhlovodíky, aromáty, benzen nebo také aldehydy. Spalováním zemního plynu se také méně produkuje oxid uhličitý. V porovnání se spalováním benzínu či nafty až o 20–25 %. CNG je dnes jednou z levnějších pohonných hmot, a to díky zavedení minimální spotřební daně na toto palivo. Další výhodou může být to, že dálniční známka v ČR je cenově za 50 % oproti dálniční známce pro běžná spalovací vozidla. Ovšem jak se emisní normy postupně zpřísnily, tak ani tyto pohony již nedokáží splnit danou emisní normu [9].

3.1.3. Hydrogenovaný rostlinný olej (HVO)

Tato paliva mohou být známa jako například obnovitelná nafta nebo ekologická nafta. Na severu Evropy a v Pobaltí je toto palivo běžně k dostání na čerpacích stanicích. Vytváří se z lipidů jako je rostlinný olej. Tyto lipidy se vyrábějí z parafinických uhlovodíků a výsledkem jsou nízkouhlíková paliva [31].

3.1.4. Bioethanol

„Bioethanol je druh alternativního alkoholového paliva, vyrobený z obnovitelných zdrojů. Nejběžnější je palivo E85. Kvůli nahrazení benzínu palivem E85 s vysokým obsahem

bioetanolu nutné motor upravit, jelikož toto palivo vyžaduje vyšší kompresní poměr motoru a úpravy palivového systému původního benzínového motoru. Palivo E85 je velmi populární ve Švédsku, kam směřuje většina produkce automobilů spalujících bioetanol. Úprava automobilu pro spalování paliva E85 vyžaduje kvůli větší agresivitě bioetanolu některé úpravy na palivové soustavě, jiná sedla ventilů, montáž dodatečného predehřování paliva. Palivo E85 totiž hůře snáší studené starty. Všechny tyto úpravy zvyšují cenu automobilu. Majitel musí počítat i s vyšší spotřebou o 25 - 30%. Benzín se do paliva E85 přidává mimo jiné kvůli horší zápalnosti etanolu. Při teplotách pod 10°C se ve směsi etanolu a benzínu snižuje poměr etanolu na 70%. Příčinou je horší zápalnost etanolu, která se projevuje především při teplotách pod bodem mrazu“ [32].

3.2. Emobilita

Chystaná norma Euro VII, která byla navržena Evropskou komisí, stanovuje, kolik bylo vypuštěno pevných částic a oxidů dusíků do ovzduší nejen z výfuků, ale i z otěru pneumatik a brzd. Navíc mají mít vozidla i snímače, které budou vypuštěné emise stále kontrolovat. Pokud by tato norma byla opravdu schválena, tak by pro osobní automobily platila již v roce 2025 a pro nákladní vozidla o dva roky déle. Hlavní obavy jsou ale z přísných limitů oxidu uhličitého. Automobilky se obávají, že tyto cíle budou nedosažitelné, proto se již nyní připravují na čistou mobilitu. Většina z nich již nyní investuje do elektromobility a bude v ní pokračovat [6].

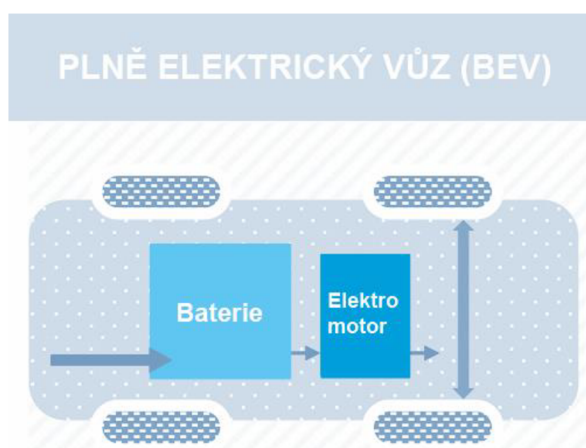
„Dohodou o budoucí regulaci emisí CO₂ pro osobní a lehká užitková vozidla vyslaly evropské instituce jasný a očekávaný signál pro ochranu klimatu již na konci října 2022. Dne 14. února 2023 bylo toto formálně znovu potvrzeno Evropským parlamentem. Přechod k elektromobilitě je nezvratný. Je to jediná ekologicky, technologicky a ekonomicky smysluplná cesta k nejrychlejšímu nahrazení spalovacích motorů. Od roku 2035 emisní regulace vyžaduje takový vozový park, který již nebude vypouštět žádné emise CO₂. De facto již v Evropě nebudou nově registrována žádná další vozidla se spalovacími motory”, konstatuje za Škodu auto PR manažer Pavel Jína [6]. Dodává, že ačkoli je to vysoký cíl, tak je ale dosažitelný. Společnost Škoda auto k tomu přispívá svojí důslednou elektrifikací své modelové flotily. Tím se na tuto situaci snaží dopředu připravit [7].

3.2.1. Technická řešení / koncepty

Nejčastějšími pohony na elektřinu v Evropské unii jsou čistě elektrické vozy BEV, plug-in hybridní vozy PHEV, hybridní vozy HEV nebo micro hybridní vozidla [33].

BEVs (Battery electric vehicles)

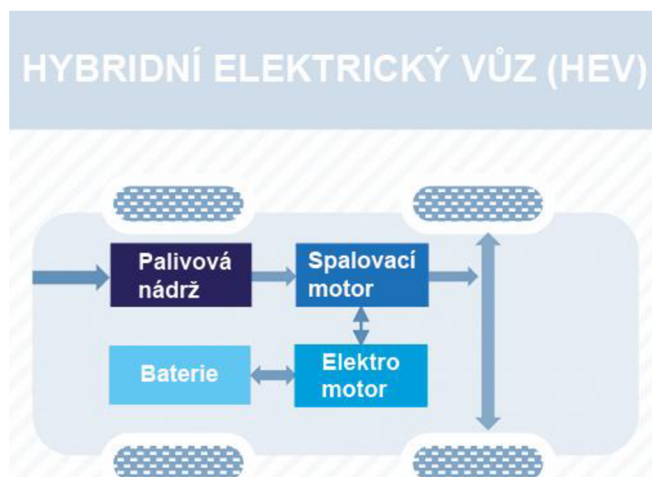
Jinak také nazýván jako plně elektrické vozidlo. BEV jezdí na energii z nabitých baterií, kterou je poháněno hnací ústrojí, viz Obrázek 6. Baterii lze nabíjet připojením k elektrické síti. Baterie dodává energii jednomu nebo více elektromotorům ve vozidle [33].



Obrázek 6: Schéma pohonu plně elektrického vozu [33]

HEV (hybrid electric vehicle)

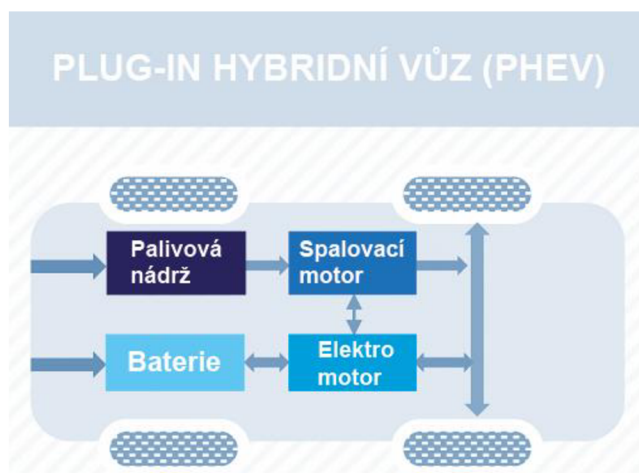
Těž znám jako sériový a paralelní hybrid. Tato vozidla mají jak spalovací motor, tak i elektromotor, viz Obrázek 7. Baterie je výhradně nabíjena elektromotorem, který je poháněn spalovacím motorem. Poté baterii pohání elektromotor, který přivádí energii na hnací ústrojí [33].



Obrázek 7: Schéma pohonu hybridního elektrického vozu [33]

PHEV (plug – in electric vehicle)

Tento typ hybridu má jak spalovací motor, tak i elektromotor. Funguje na obdobném principu jako HEV. Hlavním rozdílem je to, že baterie plug – in hybridu může být nabíjena jak ze spalovacího motoru, tak i externě z elektrické sítě, viz Obrázek 8. Ta poté přivádí energii na elektromotor, který pohání hnací ústrojí [33].



Obrázek 8: Schéma pohonu Plug - in hybridního vozu [33]

3.2.2. Nabíjecí infrastruktura

Po celé České republice se na konci roku 2022 nacházelo téměř 2500 dobíjecích bodů. Jelikož počet elektromobilů rychle narůstá, tak o to více se staví dobíjecí stanice. Momentálně je v provozu 350 stanic od společnosti PRE, 243 od E.ON a 469 dobíjecích stanic od společnosti ČEZ. Do roku 2030 by mělo být na českém trhu vybudováno 35000 dobíjecích bodů. Do budoucna se rozšiřování musí řídit dle poptávky, nikoliv podle aktuální potřeby [34].

V roce 2022 po celé České republice bylo celkem 3 978 veřejných čerpacích stanic, kde na každé veřejné čerpací stanici jsou průměrně 4 stojany pro tankování benzínu či nafty. Celkem v ČR bylo přibližně 16 000 tankovacích bodů. V porovnání s počtem dobíjecích bodů v téže roce pro elektrovozidla je to skoro 6,5 krát více tankovacích bodů benzínu či nafty [8].

Elektromobil se nabíjí dvěma způsoby. Jedním je nabíjení střídavým proudem a druhý způsob je stejnosměrným proudem. „Dobíjení je obecně proces ukládání elektrické energie z dobíjecí stanice do baterie elektromobilu. Na vstupu baterie je stejnosměrný proud (direct current ~ DC), zatímco v elektrické síti se bavíme o proudu střídavém (alternating current ~ AC). První základní dělení nabíjení je právě dle typu proudu, který je na vstupu dobíjecího procesu“ [14].

Způsoby nabíjení:

Často používaný způsob nabíjení je AC nabíječka se střídavým proudem. Tímto způsobem si uživatelé elektromobilů nabíjí auto především v noci v domácnosti, nebo také přes den, když jsou v zaměstnání. Mohou se dobíjet z 230V zásuvky, nebo popřípadě třífázové 400V zásuvky, kde rychlost nabíjení je vyšší než u klasické 230V zásuvky. Při dobíjení AC nabíječkou musí elektrifikované vozidlo tento proud přeměnit na stejnosměrný proud (DC), a proto se do elektromobilu montuje tzv. střídač napětí a palubní nabíječka [15].

Dalším způsobem je nabíjení DC nabíječkou. Ta je obecně považována za rychlonabíječku. Často se můžeme setkat s označením fast charger, rapid charger nebo také ultra charger. Tato nabíječka poskytuje majiteli mnohem větší komfort a často bývá rozhodujícím prvkem, proč si elektromobil pořídit. Tato nabíječka umožňuje majiteli cestovat na delší trasy bez nutnosti příliš dlouhého dobíjení [15].

3.2.3. Elektromobilita v ČR

Za uplynulý rok 2022 bylo v České republice registrováno 3 892 nových čistě elektrických vozidel, oproti roku 2021, kdy se jich zaregistrovalo 2 646 kusů, což je meziroční nárůst o cca 47 %. K letošnímu roku 2023 jezdí v České republice přibližně 14 316 čistě elektrických vozidel. Z toho jich je 77 % registrováno na firmy, zbylých 23 % je registrováno na fyzické osoby. Nově registrované elektromobily tvoří cca 2,1 % všech nově registrovaných vozidel v České republice [21].

4 Praktická část

V praktické části se bakalářská práce zabývá představením vozového parku Technické univerzity v Liberci. Dále se (na základě anonymizovaných dat z elektronické knihy jízd) zabývá u vybraných vozidel dojezdovými cíli. Poté předkládá návrh na infrastrukturu dobíjecích stanic a čistou lokální výrobu elektřiny pro nabíjení elektromobilů.

4.1. Představení vozového parku

Technická univerzita v Liberci má k dispozici celkem 21 vozidel, z toho 15 osobních automobilů a 6 dodávek, průměrné stáří vozů je 7 let, viz Tabulka 1.

Tabulka 1: Přehled vozového parku TUL

Automobil	Výrobce	Model	Rok výroby	Motorizace [l]	Výkon [kW]	Motor
1	Škoda	Octavia combi	2006	2.0	103	Vznětový
2	Škoda	Octavia combi	2008	1.6	77	Vznětový
3	Škoda	Octavia combi	2015	1.6	85	Vznětový
4	Škoda	Octavia combi	2020	1.6	85	Vznětový
5	Škoda	Octavia combi	2020	1.6	85	Vznětový
6	Škoda	Octavia combi	2022	2.0	85	Vznětový
7	Škoda	Superb sedan	2013	2.0	125	Vznětový
8	Škoda	Superb liftback	2016	2.0	140	Vznětový
9	Škoda	Superb combi	2018	2.0	110	Vznětový
10	Škoda	Superb liftback	2020	1.4	115	Zážehový + Ele
11	Škoda	Octavia liftback	2017	2.0	110	Vznětový
12	Škoda	Rapid spaceback	2017	1.2	66	Zážehový
13	Volkswagen	Transporter	2013	2.0	103	Vznětový
14	Škoda	Octavia combi	x	x	x	x
15	Škoda	Octavia	x	x	x	x
16	Ford	Transit	x	x	x	x
17	Peugeot	Partner	x	x	x	x
18	Renault	Kangoo	x	x	x	x
19	Dacia	Dokker	x	x	x	x
20	Renault	Mascott	x	x	x	x
21	Škoda	Fabia	x	x	x	x
		Průměrné stáří [let]	7			
Vysvětlivky: x... Nebylo k dispozici						

Pro automobily 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15 nebyl k dispozici náhled jízd pro konkrétní údaje o vozu. Tato vozidla jsou běžně využívána nejen na cesty po Liberci a jeho okolí, ale především pro dlouhé tratě i do zahraničí.

4.2. Analýza dojezdových lokací

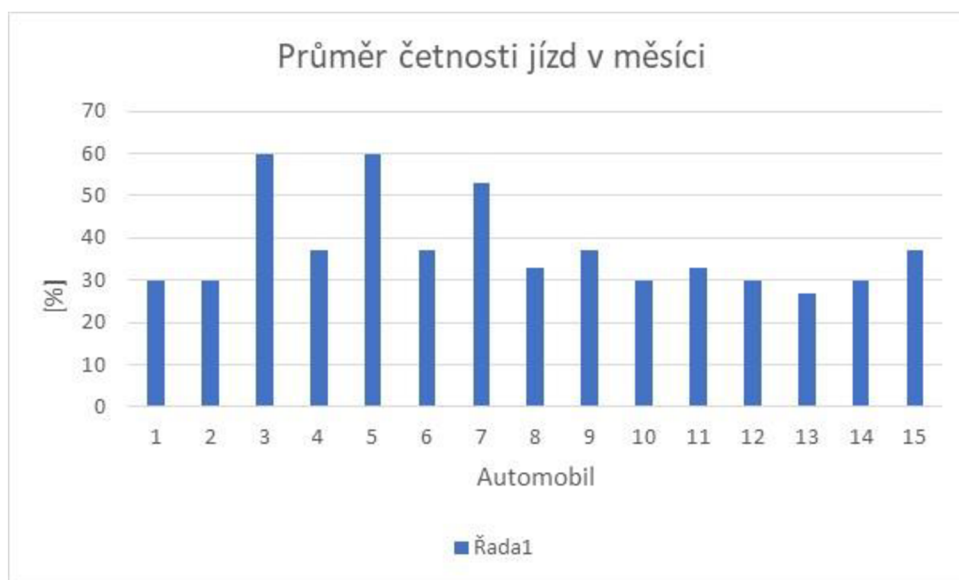
V analýze uvedené níže byla vyhodnocena data o četnosti jízd zaznamenaných v období od 1.1. 2022 do 30.4.2023. U jednotlivých vozů jsou uvedeny informace o celkovém nájezdu vozu za uvedené období. Graficky jsou pak znázorněny oblasti jak v přehledové, tak v podrobné mapě, pomocí tzv. heatmapy nebo sloupcových diagramů. Tato zobrazení vycházejí z analýzy jízd a cílů těchto jízd dle jednotlivých vozidel, pro která byla tato data k dispozici.

Níže uvedená Tabulka 2 zobrazuje celkové nájezdy kilometrů sledovaných vozů, jejich skutečnou průměrnou spotřebu paliva s ohledem na jejich produkci oxidu uhličitého, ve sledovaném období.

Tabulka 2: Přehled nájezdu, spotřeby a produkce CO2 sledovaných vozidel

Automobil	Ujetá vzdálenost za dané období [km] 1.1.2022 - 30.4.2023	Ujetá průměrná měsíční vzdálenost [km]	Sklutečná průměrná spotřeba [l/100 km]	Sklutečná produkce oxidu uhličitého [g/km]
1	2267	141	5,5	148
2	1561	97	4,9	130
3	12385	774	3,8	102
4	26765	1672	3,8	102
5	32125	2007	3,8	102
6	5454	340	3,9	105
7	33384	2086	5,4	145
8	2757	172	5,4	145
9	3441	215	5,1	137
10	6559	410	1,1	26
11	3430	214	3,8	102
12	2479	154	4,7	110
13	4122	257	7,5	201
14	6086	380	8	215
15	4920	307	9,7	227
	Celková ujetá vzdálenost [km]	9226		
	Celková průměrná spotřeba [l /100 km]		5,09	
	Celková průměrná produkce CO2 [g /1 km]			133

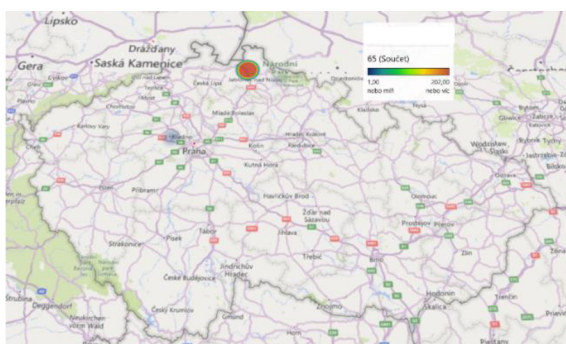
Obrázek 9 znázorňuje, kolikrát bylo vozidlo v měsíci využíváno. Pouze se třemi automobily se jezdilo více jak 50 % v měsíci. Ostatní automobily byly převážně zaparkované na parkovištích bez využití. Základem 100 % se počítá 30 dní v měsíci. Jsou zde započítány nejen pracovní dny, ale i víkendy, protože se s některými automobily jezdilo i o víkendu.



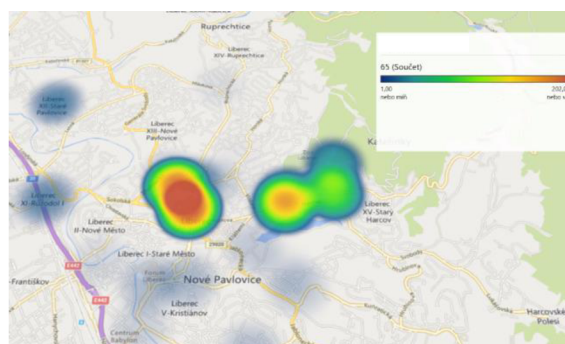
Obrázek 9: Průměr četnosti jízd v měsíci

Automobil 1

Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 9 dní v měsíci s průměrným nájездem 141 km, viz Tabulka 2.



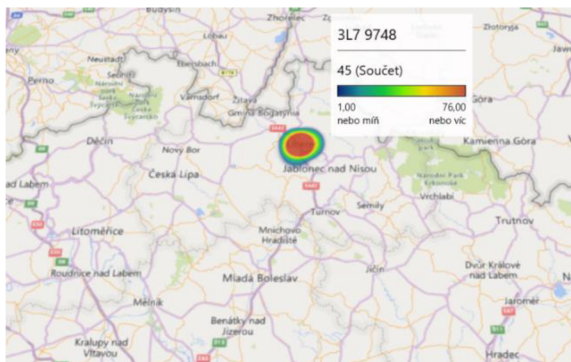
Obrázek 10: Mapa dojezdových lokací pro automobil 1



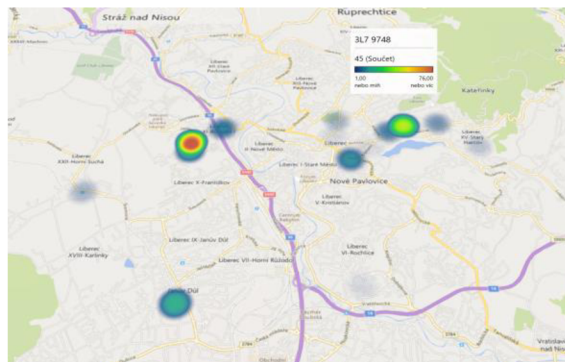
Obrázek 11: Mapa dojezdových lokací pro automobil 1

Automobil 2

Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 9 dní v měsíci s průměrným nájezdem 97 km, viz Tabulka 2.



Obrázek 12: Mapa dojezdových lokací pro automobil 2



Obrázek 13: Mapa dojezdových lokací pro automobil 2

Automobil 3

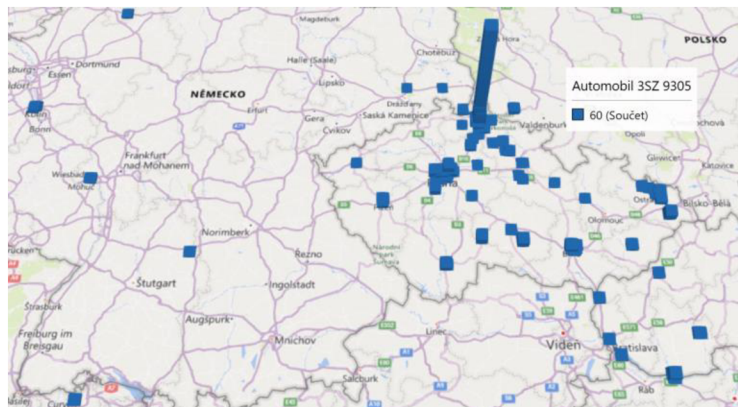
Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 18 dní v měsíci s průměrným nájezdem 774 km, viz Tabulka 2.



Obrázek 14: Mapa dojezdových lokací pro automobil 3

Automobil 4

Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 11 dní v měsíci s průměrným nájezdem 1672 km, viz Tabulka 2.



Obrázek 15: Mapa dojezdových lokací pro automobil 4

Automobil 5

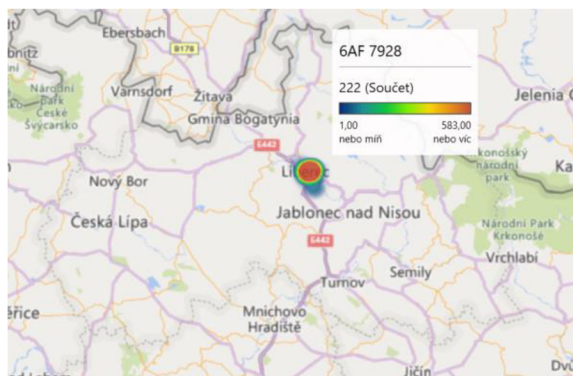
Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 18 dní v měsíci s průměrným nájezdem 2007 km, viz Tabulka 2.



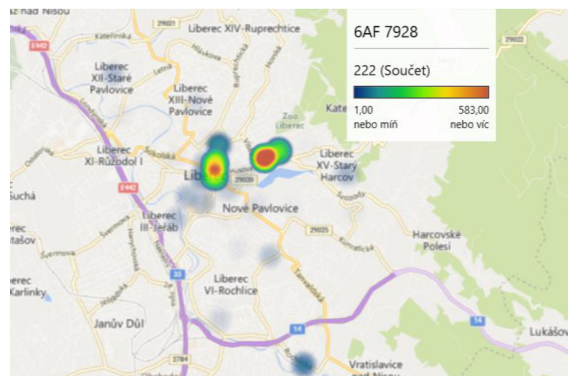
Obrázek 16: Mapa dojezdových lokací pro automobil 5

Automobil 6

Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 11 dní v měsíci s průměrným nájezdem 340 km, viz Tabulka 2.



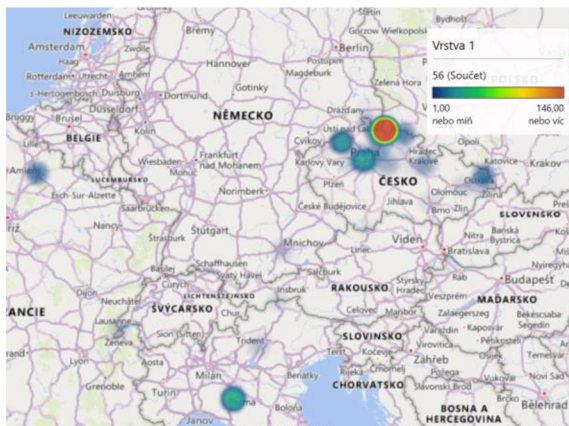
Obrázek 17: Mapa dojezdových lokací pro automobil 6



Obrázek 18: Mapa dojezdových lokací pro automobil 6

Automobil 7

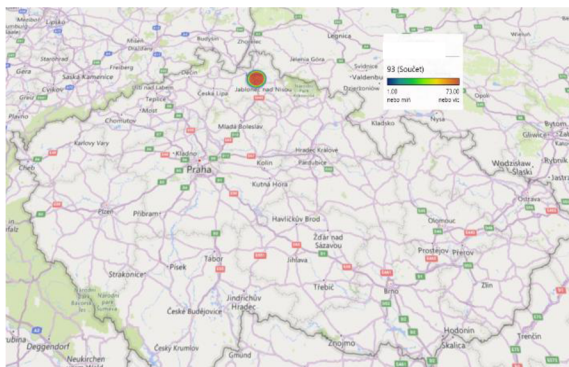
Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 16 dní v měsíci s průměrným nájezdem 2086 km, viz Tabulka 2.



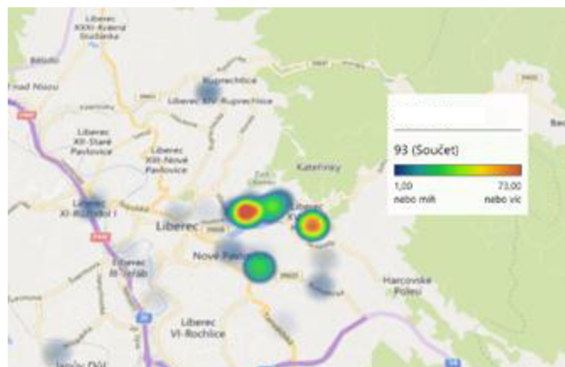
Obrázek 19: Mapa dojezdových oblastí pro automobil 7

Automobil 8

Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 10 dní v měsíci s průměrným nájedem 172 km, viz Tabulka 2.



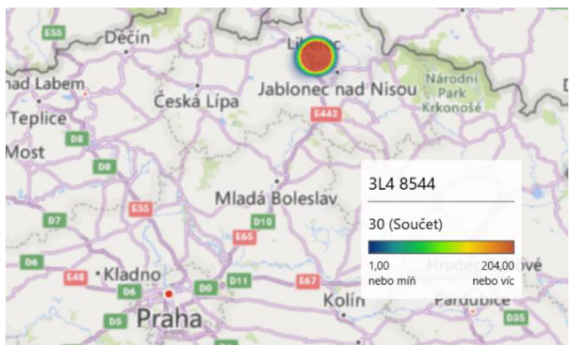
Obrázek 20: Mapa dojezdových lokací pro automobil 8



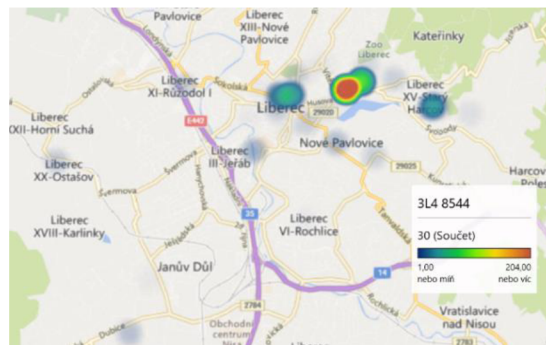
Obrázek 21: Mapa dojezdových lokací pro automobil 8

Automobil 9

Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 8 dní v měsíci s průměrným nájedem 215 km, viz Tabulka 2.



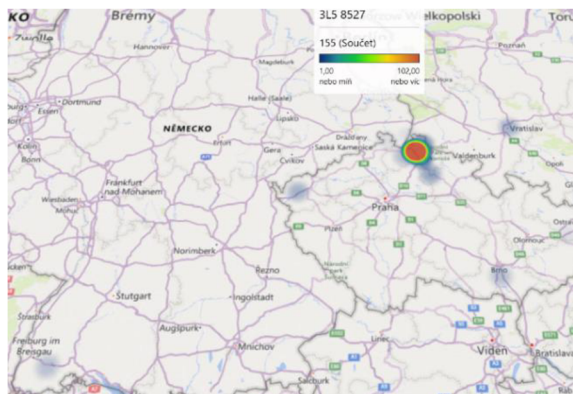
Obrázek 22: Mapa dojezdových lokací pro automobil 9



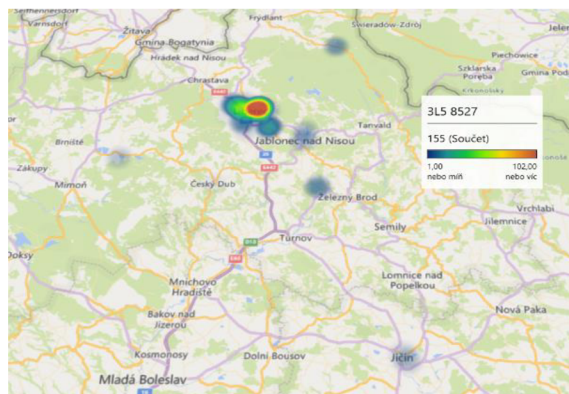
Obrázek 23: Mapa dojezdových lokací pro automobil 9

Automobil 10

Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 9 dní v měsíci s průměrným nájezdem 410 km, viz Tabulka 2.



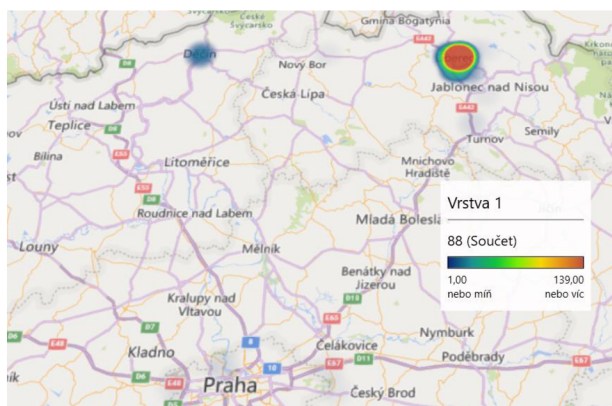
Obrázek 24: Mapa dojezdových lokací pro automobil 10



Obrázek 25: Mapa dojezdových lokací pro automobil 10

Automobil 11

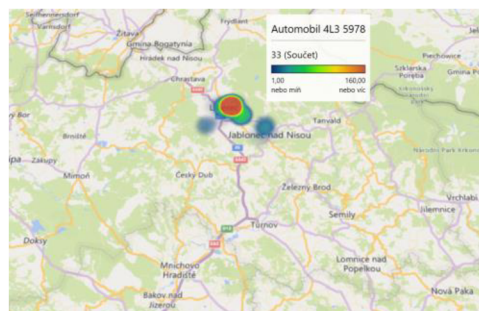
Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 10 dní v měsíci s průměrným nájezdem 214 km, viz Tabulka 2.



Obrázek 26: Mapa dojezdových oblastí pro automobil 11

Automobil 12

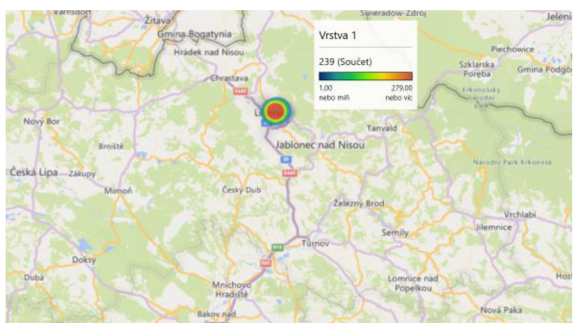
Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 9 dní v měsíci s průměrným nájezdem 154 km, viz Tabulka 2.



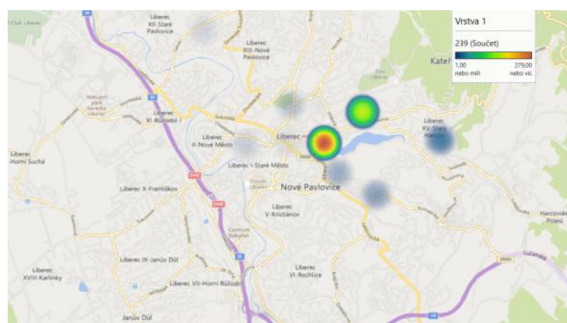
Obrázek 27: Mapa dojazdových lokací pro automobil 12

Automobil 13

Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 8 dní v měsíci s průměrným nájezdem 257 km, viz Tabulka 2.



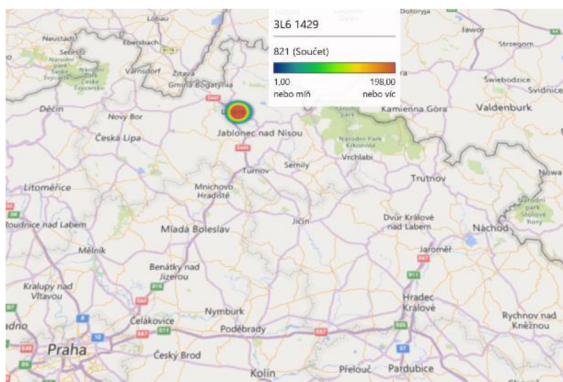
Obrázek 28: Mapa dojazdových lokací pro automobil 10



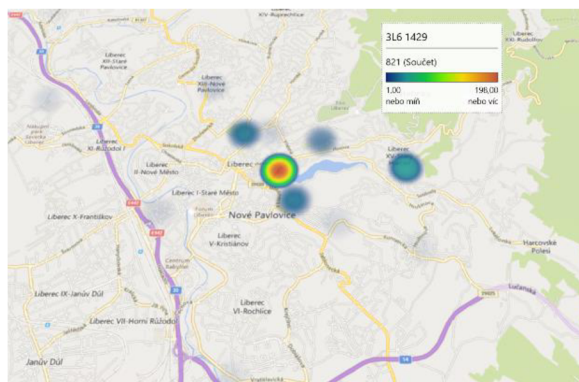
Obrázek 29: Mapa dojazdových lokací pro automobil 10

Automobil 14

Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 9 dní v měsíci s průměrným nájezdem 380 km, viz Tabulka 2.



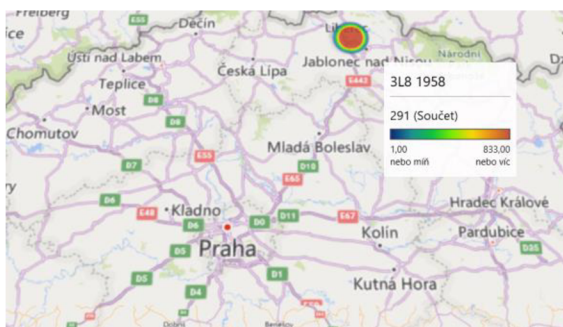
Obrázek 30: Mapa dojezdových lokací pro automobil 14



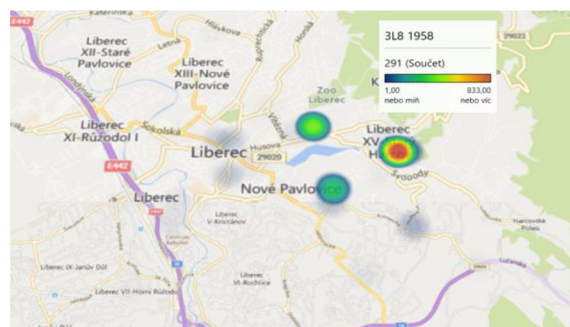
Obrázek 31: Mapa dojezdových lokací pro automobil 14

Automobil 15

Automobil byl využíván ve sledovaném období v průměru 11 dní v měsíci s průměrným nájezdem 307 km, viz Tabulka 2.



Obrázek 32: Mapa dojezdových lokací pro automobil 15



Obrázek 33: Mapa dojezdových lokací pro automobil 15

Měsíční nájezd sledovaných automobilů byl v průměru 9 226 kilometrů, viz Tabulka 2. Průměrná jejich spotřeba paliva byla 5,09 l / 100 km. Průměrná cena benzínu a nafty činí nyní cca 43,25 Kč. Při této průměrné ceně a průměrnému nájezdu se ročně ušetří až 243 724 Kč.

4.3. Návrh opatření

V Tabulce 3 jsou technické parametry nově navržených vozidel, které jsou popsány níže.

První náhradou za vozidla byl určen automobil Škoda Superb liftback iV, který disponuje jak spalovacím motorem o objemu 1,4 litrů a 115 kW, tak i elektromotorem o výkonu 85 kW. Jedná se tzv. Plugin – hybridní vozidlo. Systémový výkon, kdy vozidlo je poháněno jak spalovacím motorem, tak i elektromotorem, je 160 kW. Hlavní výhodou tohoto vozidla je, že dokáže ujet až 61 km čistě na elektrický pohon díky baterii o kapacitě 13 kWh se spotřebou 14,9 kWh/100 km. Tento dojezd dostačuje pro potřeby tohoto vozidla a lokální emise díky tomu budou nulové. Pro nabití celé baterie je zapotřebí 13 kWh, to znamená, že při průměrné ceně elektřiny 5,93 Kč/kWh bude dobití baterie do 100 % stát 77,09 Kč. Jeden ujetý kilometr vyjde na 1,71 Kč. Cena tohoto modelu je 1 104 920 Kč, viz Tabulka 8.

Druhou náhradou za vozidla byl určen automobil čistě elektrický Hyundai Kona Electric, který je poháněn 100kW elektromotorem, s baterií o kapacitě 39,2 kWh, který nabízí dojezd až 305 kilometrů, dle měření WLTP. Cena pro nabití celé baterie 39,2 kWh je 232 Kč, při ceně 5,93 Kč/kWh. Na ujetí jednoho kilometru vychází cena 1,31 Kč. Cena tohoto modelu je 849 990 Kč, viz Tabulka 8.

Třetí náhradou za vozidla byl vybrán čistě elektrický automobil Renault Kangoo Van E-Tech Electric. Toto vozidlo je poháněno elektromotorem o výkonu 90 kW a je napájeno baterií o kapacitě 45 kWh, která umožňuje dojezd až 300 km. Cena pro nabití plné baterie 45 kWh je 266,85 Kč, při ceně 5,93 Kč/ kWh. Na ujetí jednoho kilometru vychází cena 1,12 Kč/km. . Cena tohoto modelu je 797 000 Kč, viz Tabulka 8.

Čtvrtou náhradou za vozidla byl vybrán čistě elektrický automobil Škoda Enyaq iV 60. Cena tohoto modelu je 1 239 900 Kč, viz Tabulka 8. Toto vozidlo je poháněn elektromotorem o výkonu 132 kW a je napájeno baterií o kapacitě 62 kWh, která umožňuje dojezd až 395 kilometrů. Cena pro nabití plné baterie 62 kWh je 367 Kč. Na ujetí jednoho kilometru vychází cena 0,93 Kč/ km. Cena tohoto modelu je 1 239 900, viz Tabulka 8.

Tabulka 3: Technické parametry nově navržených vozidel

Značka	Model	Motorizace	Motor	Výkon [kW]	Spotřeba [l / 100 km]	Spotřeba [Wh / 1 km]	Produkce CO2 [g/km]
Škoda	Superb liftback iV	1.4	Zážeh. + Ele.	115	1,1	141	23
Hyundai	Kona Electric	-	Elektro	100	0	145	0
Renault	Kangoo Van	-	Elektro	90	0	180	0
Škoda	Enyaq iV 60	-	Elektro	132	0	160	0

4.3.1. Změny ve vozovém parku

V Tabulce 4 jsou navržena vozidla, která nahradí stávající vozový park. Poslední sloupec Ujetá průměrná měsíční vzdálenost udává, kolik by měl přibližně najet kilometrů nově navržený automobil.

Tabulka 4: Nově navržená vozidla a jejich průměrný měsíční nájezd kilometrů

Automobil	Náhrada	Ujetá průměrná měsíční vzdálenost [km]
1	Enyaq iV 60	1012
2		
3		
4	Enyaq iV 60	1672
5		2007
10	Enyaq iV 60	750
6		
7	Škoda Superb iV	2086
8	Renault Kangoo Van Electric	387
9		
11	Renault Kangoo Van Electric	625
12		
13		
14	-	380
15	Hyundai Kona Electric	307
	Celková ujetá vzdálenost [km]	9226

V Tabulce 6 jsou výsledky výpočtů spotřeby elektrické energie pro nově navržených deset vozů vozového parku za jeden měsíc při průměrném najetí 9 226 kilometrů a dále za jeden rok při ujetí 110 712 kilometrů.

Výpočet průměrné spotřeby elektrické energie na jeden kilometr pro jeden automobil na jeden měsíc:

$$\frac{5 * 141 + 1 * 145 + 3 * 180 + 1 * 160}{10} = 155 \text{ Wh} / 1 \text{ km} \quad (4.3.1.1)$$

Výpočet průměrné měsíční potřeby elektrické energie na ujetí 9226 kilometrů pro 1 automobil:

$$\frac{161 * 9226}{1000} = 1484 \text{ kWh} \quad (4.3.1.2)$$

Výpočet průměrného nájezdu za jeden rok pro celou sledovanou flotilu:

$$9226 * 12 = 110712 \text{ kilometrů} \quad (4.3.1.3)$$

Výpočet průměrné roční potřeby elektrické energie na jeden kilometr pro 7 automobilů:

$$110712 * 161 = 17\,824 \text{ kWh} \quad (4.3.1.4)$$

Tabulka 5: Spotřeba elektrické energie pro nově navržený vozový park

Značka vozu	Model	Spotřeba [l / 100 km]	Spotřeba [Wh / 1 km]	Produkce CO ₂ [g/km]	Počet Vozů	Spotřeba na počet vozů [Wh / 1 km]
Škoda	Superb liftback iV	1,1	141	23	1	141
Hyundai	Kona Electric	0	145	0	1	145
Renault	Kangoo Van	0	180	0	2	360
Škoda	Enyaq iV 60	0	160	0	3	480
Celkový počet vozů					7	
Průměrná spotřeba na jeden vůz [Wh / 1 km]						161
Potřeba kWh na ujetí 9226 km měsíčně (viz Tabulka 2)						1484
Potřeba kWh na ujetí 110712 km ročně						17824

Díky náhradě za elektrifikovaná či plně elektrická vozidla, která se budou dobíjet čistou energií z FVE, se ročně ušetří až 14,725 tun CO₂ a 243 724 Kč díky absenci nákupu fosilních paliv, viz strana 35.

4.3.2. Návrh infrastruktury

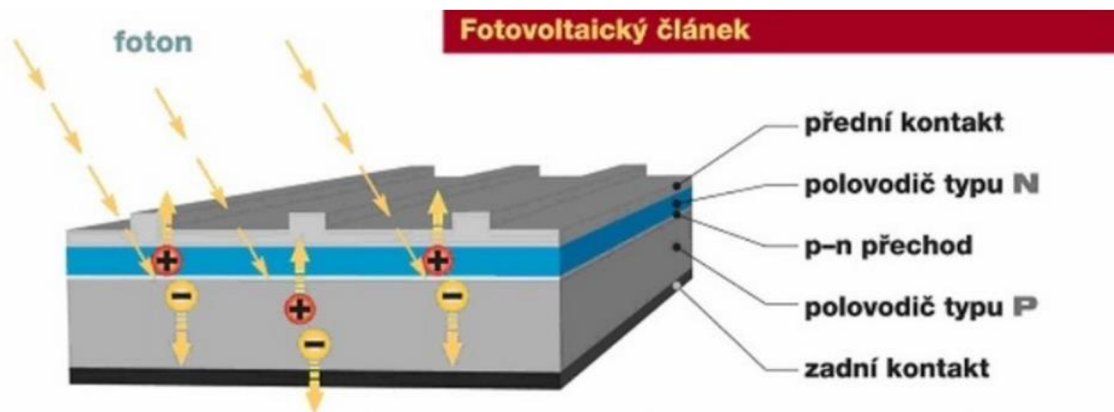
V této kapitole se bakalářská práce zabývá návrhem potřebné infrastruktury. Prvním cílem bude zjednodušený návrh fotovoltaické elektrárny, poté návrh bateriového úložiště a nakonec návrh pro nabíjení elektromobilů v nově navrženém vozovém parku TUL.

4.3.3. Fotovoltaická infrastruktura

Jsou dva způsoby, jak můžeme získat sluneční energii, a to buď přímo nebo nepřímo. Nepřímá přeměna je založena na získání tepla a přímá využívá fotovoltaického jevu, kde se v určité látce působením světla uvolňují elektrony.

Pro přímé získání sluneční energie slouží fotovoltaické články. K jejich výrobě se používají polovodičové materiály, viz Obrázek 34. Nejčastěji je fotovoltaický článek tvořen tenkou destičkou z monokrystalu křemíku. Destičky se zapojují sériově za sebou, aby se dosáhlo požadovaného napětí. Rozměry jednoho článku jsou cca 10 x 10 cm. Po zapojení jsou schopny dodávat 10 až 400 wattů.

Z jedné strany je destička fotovoltaického článku obohacena například bórem a z druhé strany například arzenem. Jeden metr čtvereční slunečních článků dokáže v letním období vytvořit až 150 W stejnosměrného proudu [1].



Obrázek 34: Struktura fotovoltaického článku [1]

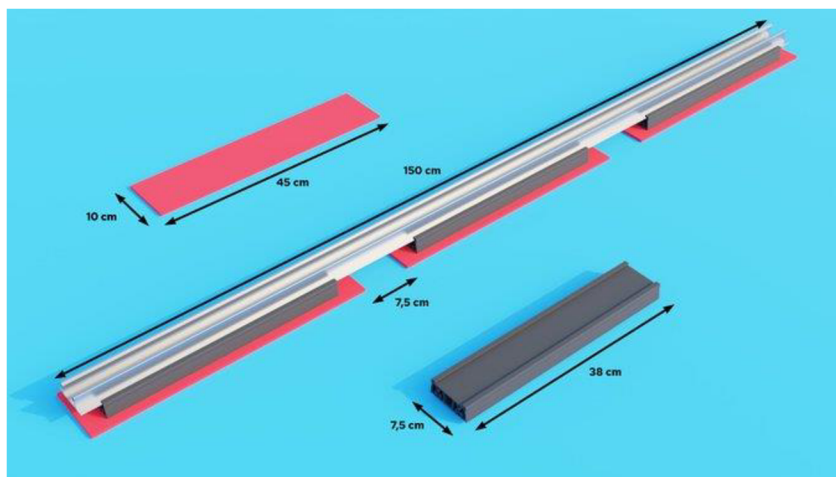
4.3.4. Realizace FVE

Panely se na ploché střechy pouze pokládají, viz Obrázek 35. Montážní konstrukce se pak zatíží dlaždicemi. Propočet zatížení větrem a sněhem na daném místě, v dané výšce budovy, s daným typem krytiny a z toho plynoucí potřebu zátěže dodá software výrobce montážního systému.



Obrázek 35. Způsob montáže fotovoltaických panelů na ploché střechy [26]

Montážní systém, dlaždice ani panely neleží přímo na střešní krytině, jak je vidět na Obrázku 36. Kolejnice leží na pružných gumových patkách, které mohou být ještě podloženy další vrstvou ze stejného materiálu jako je střešní krytina. Patky roznáší váhu a absorbují dynamické zatížení větrem.



Obrázek 36: Ilustrační foto gumových patek [26]

Výkon fotovoltaického panelu není kvalitativní parametr. Výkonnější panel neznamena lepší panel. Panely je třeba porovnávat především podle účinnosti, což je naopak známka kvality. Vyšší účinnost = čistší křemík = kvalitnější články [26].

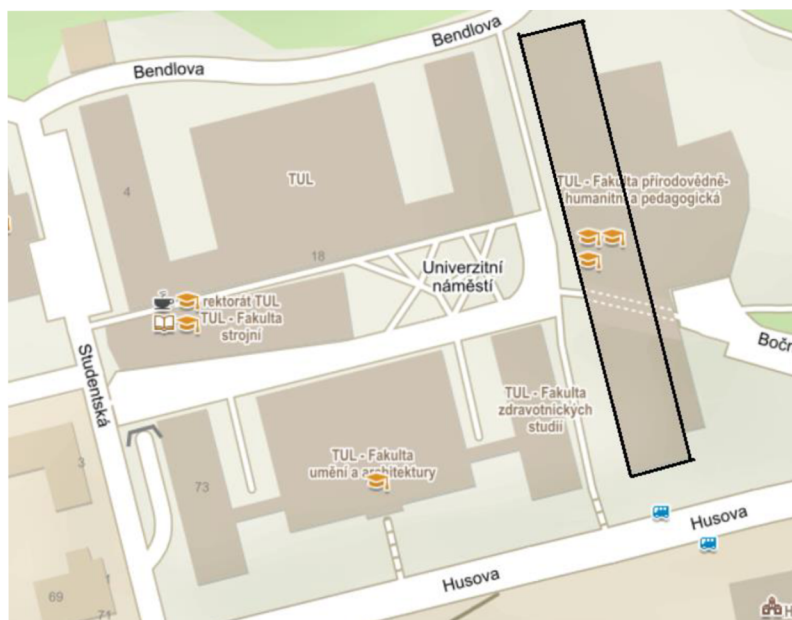
Tabulka 6: Kolik elektrické energie vyrobí 1 kWp za jeden rok

Výkon FVE	Vyrobená energie za rok
1 kWp	980 kWh
2 kWp	1 960 kWh
3 kWp	2 940 kWh
4 kWp	3 920 kWh
5 kWp	4 900 kWh

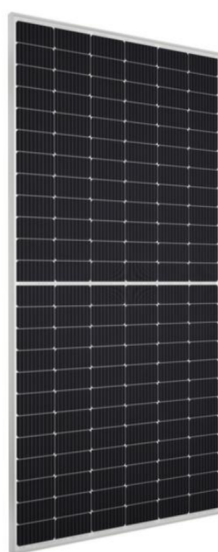
Návrhem je tedy použít fotovoltaický panel NU-JD450, viz Obrázek 38, který má výkon 450 Wp a účinnost 20,4 %. Velikost panelu je 2278 mm x 1134 mm (výška x šířka), obsah jednoho panelu je 2 583 mm². Váha jednoho panelu je 25 kg.

Realizace fotovoltaické elektrárny je vhodná postavit na budovu G Technické univerzity, viz Obrázek 35, která má plochou střechu o ploše 2220 m². Na střeše budovy jsou různá zařízení jako například antény, vzduchotechnika atp., proto nelze využít celých 100 % plochy střechy. Návrhem je využít 60 % celkové plochy, to odpovídá 1332 m². Na budovu můžeme postavit celkem 515 fotovoltaických panelů NU-JD450 o celkovém výkonu 231,75 kWp, které dokáží

vyprodukovat v zimních měsících až 5600 kWh a v letních měsících až 27500 kWh. Dle Obrázku 39 jsme spočítali průměrnou produkci FVE za jeden rok, která je až 217 MWh. Celkové náklady navržené FVE budou 2 072 620 Kč, dle Tabulky 8. Na Obrázku 37 lze vidět v černém obdélníku část budovy G, kam se budou umisťovat fotovoltaické panely.

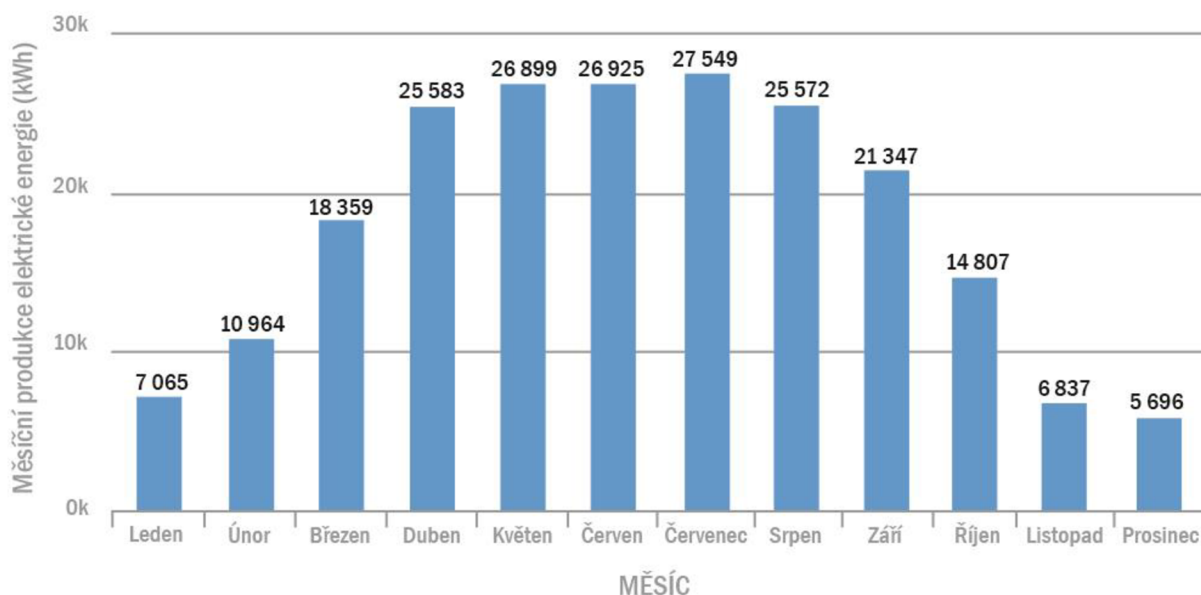


Obrázek 37: Foto objektu pro realizaci FVE [35]



Obrázek 38: Fotovoltaický panel NU-JD450 [36]

Dalšími potřebnými položkami pro realizaci jsou třífázový asymetrický hybridní střídač SofarSolar 100000TL-3PH včetně jednoho obousměrného elektroměru SmartMeter a řídicí modul GTX 3000 BCU.



Obrázek 39: Diagram roční produkce elektrické energie pomocí FVE [37]

Roční spotřeba elektrické energie pro nabíjení elektromobilů je 17,160 MWh, viz tabulka 6. Zbylá energie 199,85 MWh se využije na vlastní spotřebu budov TUL. Ročně se díky výrobě a vlastní spotřebou energie z FVE ušetří až 1 275 637 Kč, při průměrné ceně elektrické energie 5,93 Kč/ kWh. V České republice je průměr uhlíkové intenzity 475 g CO₂ na výrobu jedné kWh. Díky výrobě FVE, která je uhlíkově neutrální, se celkem ušetří 102,1801 tun CO₂ ročně [38].

4.3.5. Návrh bateriového úložiště

Netřeba ukládat celých 100 % vyprodukované energie, protože se část využije pro nabíjení elektromobilů a zbytek se využije pro vnitřní spotřebu. Bateriové úložiště bude dostatečné, když dokáže uložit cca 90 kWh pro nabíjení elektromobilů. Pro realizaci lze navrhnout úložiště energie od společnosti PylonTech US3000C 3,6 kWh, která má k dispozici kapacitu cca 3,5 kWh. Tato úložiště se mohou připojit k sobě a dokážou mít kapacitu až potřebných 105 kWh. Cena jednoho úložiště je 31 751 Kč. Bateriové úložiště je široké 442 mm, hluboké 420 mm a vysoké 132 mm [16]. Celkové náklady pro pořízení 30 úložišť jsou 952 530 Kč, dle Tabulky 8.



Obrázek 40: PylonTech Force-H1-48/336V [16]

4.3.6. Návrh dobíjecího zařízení

Návrhem pro nabíjení elektromobilů jsou 4 nabíječky Škoda iV wallbox, viz Obrázek 41, a jedna dobíjecí stanice EnergyCloud, viz Obrázek 42, která poskytuje nabíjení stejnosměrným proudem DC.

Nabíjení pomocí Wallbox ŠKODA iV Charger Connect

Tato metoda je nejideálnějším řešením pro použití v domácnostech, jelikož je odolná vůči povětrnostním vlivům. Lze ji použít nejen uvnitř domácnosti, ale i venku. Nabíječka je navržena jak na jednofázové připojení, tak i na třífázové připojení, takže se dobře přizpůsobuje elektrické instalaci v domácnosti. Wallbox je 297 mm široký, 406 mm vysoký a 116 mm hluboký [39].

Díky této nabíječce se dokáže elektrifikované vozidlo dobít až pětkrát rychleji oproti běžné zásuvce 230 V. Doba dobíjení je závislá na výkonu nabíječky a kapacitě vozidla. Pokud to elektromobil umožňuje, tak tato nabíječka dokáže nabíjet o výkonu až 11 kW při třífázovém zapojení. Pro příklad plug – in hybrid Škoda Superb iV s baterií o kapacitě 13 kWh, která podporuje maximálně 3,6 kW dobíjení, se dokáže do plna nabít za 3,5 hodiny. Cena jednoho zařízení je 24 790 Kč, viz Tabulka 8 [39].



Obrázek 41: Wallbox ŠKODA iV Charger Connect [39]

Nabíjení pomocí DC dobíjecí stanice OlifeEnergy DC

„Rychlonabíjecí stanice pro elektromobily s výkonem až 120 kW v samostatně stojícím designovém provedení. Silová elektronika je umístěna přímo ve stojanu (pro výkony do 90 kW není třeba doplňkové skříně). OlifeEnergy DC je vybavena dvěma kabely s konektory pro stejnosměrné nabíjení a další zásuvkou AC, kterou lze dobíjet při výkonu až 22 kW. V pracovním módu „dual,, dokáže stanice rychlonabíjet dva elektromobily zároveň. Volitelně lze doplnit také zásuvku nebo kabel s konektorem pro AC dobíjení. Stanice je plně kompatibilní se službou OlifeEnergy Cloud pro vzdálený monitoring, kontrolu, řízení stanice a regulaci výkonu. Lze ji také ovládat pomocí RFID karet nebo mobilní aplikace, případně vzdáleně přes OCPP protokol“ říká server Autonabijeni.cz [2]. Cena jednoho zařízení je 1 167 650 Kč, viz Tabulka 8.



Obrázek 42: Nabíjecí stanice OlifeEnergy DC [2]

Investice celkem

Pro realizaci FVE se bakalářská práce odvíjí od návrhu pro FVE na rodinný dům o výkonu 9,9 kWp. Celková cena FVE se ve skutečnosti může lišit díky množstevní slevě, takže realizace FVE by vyšla levněji, než je předpokládáno dle Tabulky 8. Dále je třeba od celkové investice odečíst prodej stávajících automobilů z vozového parku TUL. Výše celkové investice by činila 10 830 310 Kč a roční ušetření nákladů za palivo a elektrickou energii by činil 1 519 091 Kč. Díky tomu by návratnost celé investice byla 7,1 let.

Tabulka 7: Detailně popsané celkové investice

Produkt	Investice [Kč/ks]	Počet [ks]	Cena celkem [Kč]
Škoda Superb iV	1 104 900	1	1 104 900
Hyundai Kona Electric	849 990	3	2 549 970
Škoda Enyaq iV	1 239 900	1	1 239 900
Renault Kangoo	797 000	2	1 594 000
NU-JD450	2 750	515	1 416 250
PylonTech US3000C	31 751	30	952 530
AC nabíječka	24 790	6	148 740
DC Nabíječka	1 167 650	1	1 167 650
GTX 3000 BCU	21900	1	21900
Střídač + elektroměr	69870	1	69870
Montáž a uvedení do provozu			
Kabeláž	222	1 400	310800
Instalace a nastavení (8h/29os]	118900	2	237800
Propojení	1000	1	1000
Projekt a revize	10000	1	10000
Stavební připravenost FVE	5000	1	5000
Cena celkem			10 830 310

5 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout modernizaci vozového parku TUL, specifikovat nutné náklady na pořízení potřebné infrastruktury, odhadnout celkovou úsporu CO₂, odhadnout celkovou úsporu nákladů a určit návratnost.

Z analýzy práce popsané v praktické části vyplývá, že dva automobily z vozového parku TUL by bylo vhodné vyměnit za navržené elektromobily, dvanáct automobilů lze prodat a koupit jen pět elektromobilů a jeden vůz zůstane ve vozovém parku v původním stavu.

Dále byla navržena infrastruktura. V návrhu jsou uvedena také dobíjecí zařízení, která jsou napájena elektrickou energií vytvořenou z fotovoltaického systému, potřebná k dobíjení navržených elektromobilů zmíněných v praktické části.

FVE počítá nejen s potřebnou energií pro nabíjení elektromobilů, ale i pro vlastní spotřebu na budovách TUL. V praktické části je popsána úspora elektrické energie při využívání navržené fotovoltaiky, která je uhlíkově neutrální.

Celková úspora CO₂ je 116,9051 tun ročně. Celkové náklady pro počáteční investici činí 10 830 310 Kč. Ročně se ušetří za výrobu elektrické energie a absenci nákupu fosilních paliv 1 519 091 Kč. Návratnost celé investice je 7,1 let.

6 Seznam použité literatury

- [1] FG Forrest www.fg.cz, 2023 a s. Jak funguje fotovoltaická elektrárna. *Skupina ČEZ - O Společnosti*. Retrieved May 8, 2023 from <http://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/obnovitelné-zdroje/slunce/jak-funguje-sluneční-elektrárna>
- [2] Autonabijeni.cz. 2023. OlifeEnergy DC | max. 120kW. *autonabijeni.cz*. Retrieved May 18, 2023 from <https://www.autonabijeni.cz/rychlónabijecí-stanice/olifeenergy-dc-max--150kw/>
- [3] Bezpečné cesty.cz. Informativní dopravní značky. Retrieved May 8, 2023 from <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/autoskola/dopravní-znacky/informativní-dopravní-znacky/iz-7a-emisní-zona>
- [4] MŽP ČR. 2021. Čistá mobilita. <http://>. Retrieved May 9, 2023 from https://www.mzp.cz/cz/cista_mobilita_seminar
- [5] ČTK. 2023. Emisní normy EU platí 30 let, návrh Euro 7 vyvolal kritiku u výrobců i vlády. *Ekolist.cz*. Retrieved May 9, 2023 from <https://ekolist.cz/cz/zpravodajství/zpravy/emisní-normy-eu-platí-30-let-navrh-euro-7-vyvolal-kritiku-u-vyrobců-i-vlády>
- [6] EnergoZrouti.cz. Zákaz vjezdu vozidel se spalovacím motorem do center měst v ČR? Pro zákaz je i nový prezident Petr Pavel. *EnergoZrouti.cz*. Retrieved May 8, 2023 from <https://energozrouti.cz/clanek/zakaz-vjezdu-vozidel-se-spalovacím-motorem-do-center-mest-pro-zakaz-je-i-budoucí-prezident-pavel>
- [7] Monika Ginterová. 2023. Přechod k elektromobilitě je nezvratný, říkají automobilky. Obavy mají spíš z normy Euro 7. *Ekonomický deník*. Retrieved May 9, 2023 from <https://ekonomickydenik.cz/tisíce-korun-i-pracovních-míst-přechod-k-elektromobilitě-je-nezvratný-říkají-automobilky/>
- [8] Jitka Hemolova. 2022. MPO: Trh s čerpacími stanicemi je v ČR vysoce konkurenční, obsluhuje jej 7 633 čerpacích stanic. *Čerpačka - zprávy o čerpacích stanicích*. Retrieved May 27, 2023 from <https://www.cerpacka.cz/2022/01/14/mpo-trh-s-čerpacími-panicemi-je-v-cr-vysoce-konkurenční-obsluhuje-jej-7-633-čerpacích-panic/>
- [9] EnviWeb cz-zpravodajství o životním prostředí. 2013. CNG a LPG jsou palivy budoucnosti - EnviWeb. *EnviWeb.cz*. Retrieved May 9, 2023 from <https://www.enviweb.cz/97920>
- [10] EnviWeb cz-zpravodajství o životním prostředí. 2020. Jaké zvolit alternativní palivo do auta - EnviWeb. *EnviWeb.cz*. Retrieved May 16, 2023 from <https://www.enviweb.cz/117929>
- [11] Tommaso Selleri, Anastasios D. Melas, Ameya Joshi, Dario Manara, Adolfo Perujo, and Ricardo Suarez-Bertoa. 2021. An Overview of Lean Exhaust deNO_x Aftertreatment Technologies and NO_x Emission Regulations in the European Union. *Catalysts* 11, 3 (March 2021), 404. DOI:<https://doi.org/10.3390/catal11030404>
- [12] Webový servis- <http://webovy-servis.cz>. Bola. *Bola*. Retrieved May 9, 2023 from <https://www.bola.cz/poradna/oxid-uhlicí-k-cemu-se-pouziva-a-kdy-je-nebezpečný>
- [13] Amy Smorodin. 2022. Germany, not the land of compact cars: Why the EU new car CO₂ standards are nothing to fear. *International Council on Clean Transportation*. Retrieved May 9, 2023 from <https://theicct.org/eu-co2-standards-nothing-to-fear-feb22/>
- [14] 24net s.r.o. 2020. Jak, kde a za kolik nabít elektromobil? – Kompletní průvodce. *fDrive.cz*. Retrieved May 14, 2023 from <https://fdrive.cz/clanky/jak-kde-a-za-kolik-nabít-elektromobil-kompletní-průvodce-5005>
- [15] Ušetřeno cz s.r.o. Distribuční sazba D27d: Ideální při nabíjení elektromobilu. Retrieved May 16, 2023 from <https://www.elektrina.cz/distribucní-sazba-d27d-ideální-při-nabíjení-elektromobilu>

- [16] Web Revolution s.r.o. Solární baterie 3,55kWh 48V 74Ah LiFePO4 US3000C PylonTech | bbelektro.cz. Retrieved May 27, 2023 from <https://www.bbelektro.cz/solarni-baterie-3-6kwh-48v-lifepo4-serie-c-us3000c-pylontech>
- [17] 2015. Oxidy dusíku se hlídají hlavně kvůli zdraví. Nešíří se však jenom z aut. *iROZHLAS*. Retrieved May 9, 2023 from https://www.irozhlas.cz/clovek/oxidy-dusiku-se-hlidaji-hlavne-kvuli-zdravi-nesiri-se-vsak-jenom-z-aut_201509250559_vkourimsky
- [18] 2019. Emise CO2 z aut: fakta a čísla (infografika) | Zpravodajství | Evropský parlament. Retrieved May 8, 2023 from <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika>
- [19] 2022. Vodní pára. *Wikipedie*. Retrieved May 9, 2023 from https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Vodn%C3%AD_p%C3%A1ra&oldid=22189152
- [20] 2023. Vodíkový automobil. *Wikipedie*. Retrieved May 9, 2023 from https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Vod%C3%ADkov%C3%BD_automobil&oldid=22356535
- [21] 2023. Elektromobilita v Česku stále děsivě skomírá. Předběhl nás už i Kypr | TN.cz. Retrieved May 9, 2023 from <https://tn.nova.cz/auto/clanek/488440-elektromobilita-v-cesku-stale-desive-skomira-predbehl-nas-uz-i-kypr>
- [22] 2023. Konec aut se spalovacími motory. Od roku 2035 se v EU přestanou prodávat | TN.cz. Retrieved May 8, 2023 from <https://tn.nova.cz/auto/clanek/489900-konec-aut-se-spalovacimi-motory-od-roku-2035-se-v-eu-prestanou-prodavati>
- [23] 2023. Oxid uhelnatý. *Wikipedie*. Retrieved May 9, 2023 from https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Oxid_uhelnat%C3%BD&oldid=22559009
- [24] 2023. Pevné částice. *Wikipedie*. Retrieved May 9, 2023 from https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Pevn%C3%A9_%C4%8D%C3%A1stice&oldid=22729170
- [25] 2023. Balíček „Fit for 55“. Retrieved May 14, 2023 from <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
- [26] 2023. Uživatel Vladimír Matajcs na Twitteru. *Twitter*. Retrieved May 17, 2023 from <https://twitter.com/SolarniExperti/status/1651984724049510400>
- [27] V roce 1920 jezdilo v ČSR 3400 osobních aut, loni 5,5 milionu. *auto.cz*. Retrieved May 13, 2023 from <https://www.auto.cz/v-roce-1920-jezdilo-v-csr-3400-osobnich-aut-loni-5-5-milionu-123952>
- [28] Kolik aut jezdí v EU a jak jsou stará? Deset čísel o Evropě, která je dobré znát, nikoliv tipovat. Retrieved May 13, 2023 from <https://www.autosalon.tv/novinky/ridicuv-chleba/vse-co-potrebujete-vedet-o-automobilove-evrope-v-deseti-cislech-ktera-je-lepsi-znat-nez-tipovat>
- [29] Digitální učební materiál - ppt stáhnout. Retrieved May 13, 2023 from <https://slideplayer.cz/slide/2629762/>
- [30] Vše o palivech: Emise - přehled škodlivin (8. díl). Retrieved May 9, 2023 from <https://www.tipcars.com/magazin/nase-tema/vse-o-palivech-emise-prehled-skodlivin-8-dil.html>
- [31] Vysvětleno hydrogenovaný rostlinný olej (HVO) | Cummins Inc. Retrieved May 16, 2023 from <https://www.cummins.com/cz/news/2022/07/01/hydrotreated-vegetable-oil-hvo-explained>
- [32] Bioetanol - autolexicon.net. Retrieved May 27, 2023 from <https://www.autolexicon.net/cs/articles/bioetanol/>
- [33] TYPES OF ELECTRIC VEHICLES. Retrieved May 8, 2023 from <https://e-amrit.niti.gov.in/types-of-electric-vehicles>
- [34] Předsudky a fakta - Baterie a nabíjení | Škoda Auto a.s. Retrieved May 9, 2023 from <https://www.skoda-auto.cz/emobilita/predsudky-fakta-baterie-nabijeni>

[35] Základní • Mapy.cz. *Mapy.cz*. Retrieved May 27, 2023 from <https://mapy.cz/zakladni?>

[36] 450 Wp/ Mono: NUJD450 | Sharp. Retrieved May 17, 2023 from <https://www.sharp.eu/monocrystalline-solar-panels/450-wp-mono-nujd450>

[37] JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission. Retrieved May 17, 2023 from https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

[38] Live 24/7 CO₂ emissions of electricity consumption. Retrieved May 18, 2023 from <http://electricitymap.tmrow.co>

[39] ŠKODA iV Charger Connect | E-Mobilita | Pro váš vůz | Katalog | Česká republika. Retrieved May 9, 2023 from https://eshop.skoda-auto.cz/cs_CZ/skoda-iv-charger-connect/p/5LA915686A